

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV
STROJÍRENSKÉ
TECHNOLOGIE

POUŽITÍ METODY FMECA PRO PREVENCI CHYB V PRŮMYSLVÉM PODNIKU

USING OF FMECA METHOD FOR PREVENTION OF ERRORS IN THE INDUSTRIAL
ENTERPRISE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV MACHÁČ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOŠ KOTEK, Ph.D.

BRNO 2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Macháč

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Použití metody FMECA pro prevenci chyb v průmyslovém podniku

v anglickém jazyce:

Using of FMECA method for prevention of errors in the industrial enterprise

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Prevence chyb je významným způsobem zvyšování efektivity výroby. Základním krokem pro prevenci chyb je jejich identifikace, metoda FMECA je jedním z nejčastěji využívaných systematických nástrojů v této oblasti. Podstatou metody FMECA je systematická identifikace všech možných vad výrobku nebo procesu a jejich důsledků, identifikace kroků zamezení, snížení nebo omezení příčin těchto vad a zdokumentování celého procesu.

Cíle diplomové práce:

1. Provést literární rešerši v dané oblasti.
2. Ve vybraném průmyslovém podniku identifikovat vady metodou FMECA.
3. Navrhnout preventivní opatření a zhodnotit jejich účinnost.

Seznam odborné literatury:

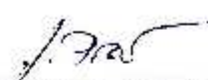
1. NEFADÁL, J. Moderní systémy řízení jakosti. Praha : Management Press, 1998. 283 s. ISBN 80-7169-955-1.
2. ČSN EN 60812:2007. Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).
3. MIKULAK, Raymond J., MCDERMOTT, Robin, BEAUREGARD, Michael . The Basics of FMEA. 2nd Edition. [s.l.] : Productivity Press, 2008. 95 s. ISBN 978-1563273773.

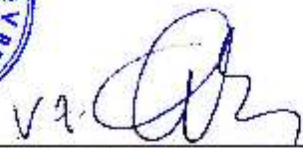
Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 22.11.2011




prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na využití metody FMECA ve výrobním podniku. Analýza vypracovaná ve spolupráci s výrobním podnikem si klade za cíl snížení počtu neshodných výrobků. Pomocí analýzy FMECA byly identifikovány nejkritičtější možné vady a následně byla navržena opatření ke snížení výskytu možných neshod.

Klíčová slova

FMECA, FMEA, jakost, výrobní proces

ABSTRACT

This thesis is focused on using FMECA in a manufacturing company. Analysis was developed in conjunction with a manufacturing company and its main goal is to decrease number of scrap. FMECA helped to find the most critical possible defects and then some actions for decreasing number of scrap were suggested.

Key words

FMECA, FMEA, quality, manufacturing process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACHÁČ, Miroslav. *Použití metody FMECA pro prevenci chyb v průmyslovém podniku*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 51 s. Vedoucí práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Použití metody FMECA pro prevenci chyb v průmyslovém podniku vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22. května 2012

Datum

Bc. Miroslav Macháč

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Lubošovi Kotkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1. VZNIK A HISTORIE METODY FMECA	10
1.1 Terminologie metody FMECA	10
1.2 Princip, výhody a nevýhody metody FMECA	10
1.3 DFMECA – FMECA konstrukce	12
1.3.1 Analýza současného stavu	12
1.3.2 Hodnocení současného stavu	12
1.3.3 Návrh preventivních opatření	15
1.3.4 Hodnocení stavu po provedení preventivních opatření	15
1.4 PFMECA – FMECA procesu	15
1.4.1 Analýza současného stavu	15
1.4.2 Hodnocení současného stavu	15
1.4.3 Návrh preventivních opatření	18
1.4.4 Hodnocení stavu po provedení preventivních opatření	18
1.5 SFMECA – systémová FMECA výrobku a procesu	18
1.6 Vyhodnocování FMECA analýzy	20
1.6.1 Hodnocení rizika podle RPN a dílčího hodnocení	20
1.6.2 Nedostatky RPN	21
1.6.3 Hodnocení pomocí matice kritičnosti	21
1.7 Náklady a optimalizace provádění FMECA	23
1.7.1 Rozbor nákladů	23
1.7.2 Optimalizace provádění FMECA	24
2. PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI	25
3. PŘEDSTAVENÍ VÝROBKU A VÝROBNÍHO PROCESU	26
3.1 Představení výrobku	26
3.2 Představení výrobního procesu	27
3.2.1 Lisování (narážení) kontaktů do plastové špulky	28
3.2.2 Navíjení drátu na špulku	30
3.2.3 Svařování kontaktů a drátu	32
3.2.4 Posouvání drátku	34

3.2.5	Zapouzdření cívky typu 1	34
3.2.6	Zapouzdření cívky typu 2	36
3.2.7	Výstupní kontrola.....	37
4.	VYHODNOCENÍ FMECA ANALÝZY.....	40
5.	NAVRŽENÍ PREVENTIVNÍCH OPATŘENÍ.....	41
5.1	Narážení kontaktů.....	41
5.2	Navíjení drátu	41
5.3	Svařování kontaktů	43
5.4	Zapouzdření cívek	43
5.4.1	Zapouzdření cívek typu 1	43
5.4.2	Zapouzdření cívek typu 2.....	46
5.5	Výstupní kontrola	47
5.6	Technickoorganizační opatření.....	47
	ZÁVĚR	48
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
	SEZNAM PŘÍLOH.....	51

ÚVOD

Jakost je velmi důležitým aspektem jakéhokoli výrobku či služby. Nejakosti je potřeba předcházet. Vznik neshodných výrobků nejen prodražuje výrobu, ale také má značný vliv na spokojenost zákazníka. Z dlouhodobého hlediska jsou spokojenost zákazníka a výrobní náklady klíčové faktory pro úspěch firmy.

Ke snížení vzniku neshodných výrobků bylo vypracováno několik metod. Jako jeden z nástrojů pro předcházení nejakosti je užívána a mezinárodně normována metoda FMECA (Failure mode, effects and criticality analysis). Tato metoda se do českého jazyka překládá jako „analýza druhů, důsledků a kritičnosti poruchových stavů [6]“.

Analýza FMECA je velmi rozšířená v odvětvích, kde jsou na jakost kladeny velké nároky. Nejčastěji je tato metoda používána v automobilovém a leteckém průmyslu.

První část práce se zabývá teoretickým popisem metody FMECA. Tato část je určena k seznámení čtenářů s touto analyticko-preventivní metodou. Budou zde roze-psány postupy při zhotovování FMECA, její výhody a nevýhody atd.

V druhé části práce bude pomocí této metody rozebrán a analyzován výrobní proces cívek. Tyto cívky jsou používány v automobilovém průmyslu. Tato část bude provedena ve spolupráci s nejmenovaným brněnským výrobním podnikem.

Na základě této analýzy budou v poslední části práce navržena opatření ke snížení počtu vyrobených neshodných kusů.

Cílem této práce je:

1. Provést literární rešerši v dané oblasti,
2. Ve vybraném průmyslovém podniku identifikovat vady metodou FMECA,
3. Navrhnout preventivní opatření a zhodnotit jejich účinnost.

1. VZNIK A HISTORIE METODY FMECA

Metoda FMECA pochází z USA. Byla vyvinuta americkou armádou a publikována byla v roce 1949 [3]. K největšímu rozšíření došlo v šedesátých letech minulého století v kosmickém průmyslu (projekt Apollo, Viking, Voyager, ...) a jaderné energetice [9]. NASA využívala variace metod FMECA pod různými názvy [3].

Následně byla metoda FMECA velmi rychle rozšířena i do jiných oblastí výzkumu a průmyslu, zejména do automobilového a leteckého. Nyní je metoda FMECA mezinárodně normována. V České republice ji popisuje norma ČSN EN 60812 platná od roku 2007 a nahrazuje normu ČSN IEC 812.

Norma ČSN EN 60812 popisuje postup při aplikování metody FMECA a uvádí konkrétní příklady její aplikace.

Pozn.: Lze se také setkat s metodou FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Název metody FMEA je do českého jazyka překládán nejčastěji jako „analýza způsobů a důsledků poruch“. Rozdíl mezi oběma metodami je v tom, že FMECA v sobě zahrnuje kvantitativní vyjádření kritičnosti možných poruch, kdežto FMEA je kvalitativní analýza. [2]

1.1 Terminologie metody FMECA

Před rozbořením etap, ze kterých se metoda FMECA skládá je potřeba uvést základní názvosloví, které se při aplikaci metody objevuje a využívá [2]:

- *objekt* – část, součást, zařízení nebo systém, kterým se lze individuálně zabývat, může to být hardware nebo software, případně lze do objektu zahrnout i lidi;
- *porucha* – stav, kdy objekt není schopen plnit požadovanou funkci;
- *poruchový stav* – stav objektu, který není schopen plnit požadovanou funkci, kromě stavů způsobených údržbou, nedostatkem zdrojů nebo dalších předem plánovaných činností;
- *důsledek poruchy* – důsledek poruchy na funkci, případně stav objektu;
- *způsob poruchy* – způsob, jakým došlo k poruše objektu;
- *kritičnost poruchy* – kombinace četnosti a závažnosti poruchy;
- *systém* – soubor vzájemně souvisejících nebo působících prvků;
- *závažnost poruchy* – závažnost důsledku poruchy na provoz objektu, okolní prostředí nebo na obsluhu objektu;
- *číslo rizikové priority (RPN)* – udává, na které poruchy jsou pro systém nejvíce kritické.

1.2 Princip, výhody a nevýhody metody FMECA

Hlavní výhodou metody FMECA je, že dokáže odhalit 70 – 90 % možných poruch [9]. Spolu s klesajícím množstvím možných poruch klesají také náklady, které budou muset být vynaloženy v průběhu výroby na odstranění příčin těchto poruch.

Mezi hlavní nevýhody patří zejména časová náročnost, která je v případě první FMECA, kterou podnik provádí velmi vysoká [5]. Další nevýhodou je, že kvalita provedené analýzy velmi závisí na zkušenostech pověřených pracovníků [9].

FMECA je primárně užívána především pro nové výrobky a výrobní procesy. Lze ji však použít i k zefektivnění procesů již zaběhlých. Pokud je FMECA aplikována na nový výrobek nebo proces je nutné s analýzou začít dostatečně včas. Pozdní zahájení s sebou nese zvýšení finančních nákladů, případně časové ztráty [9].

Na počátku je potřeba vytvořit tým pracovníků tzv. tým FMECA, který se analýzou bude zabývat. Je žádoucí, aby byl sestaven ze zkušených pracovníků. Mezi členy týmu FMECA by měli být zastoupeni pracovníci vývoje, konstrukce, technologie, výroby, útvaru řízení jakosti, dále může být členem týmu i konečný zákazník [8]. Aby byla výsledná analýza kvalitní, je vhodné, aby měl tým FMECA ve svém čele zkušeného koordinátora. Protože se jedná o týmovou práci a členové týmu sledují společný cíl, je také nutná dobrá komunikace mezi útvary v podniku.

Průběh analýzy lze rozdělit do 4 základních etap [8]:

- analýza současného stavu,
- hodnocení současného stavu,
- návrh preventivních opatření,
- hodnocení stavu po provedení preventivních opatření.

Při provádění metody FMECA se zjištěná data zapisují do formuláře (viz příloha 1 a 2). Formulář uvedený v ČSN EN 60812 je pouze informativní a každá firma si ho může obměnit podle svých potřeb a zvyklostí. Výsledný formulář slouží k vyhodnocení stavu současného a stavu po provedení preventivních opatření.

Vyhodnocení analýzy FMECA jde provést dvěma metodami [2]:

- číslo RPN,
- matice kritičnosti.

V následujícím textu bude probírána varianta hodnocení pomocí RPN. Hodnocení pomocí RPN je značně rozšířeno a propracováno v automobilovém průmyslu [5]. Také většina literatury [1, 5, 6, 9] využívá přednostně hodnocení pomocí RPN. Hodnocení pomocí matice kritičnosti bude probíráno v podkapitole 1.6.3.

Analýza FMECA může být aplikována na různé procesy, systémy, výrobky atd. Podle toho, na co je zaměřena se nejčastěji rozlišují [1]:

- DFMECA (Design Failure Mode Effects Analysis) – FMECA konstrukce, analyzuje výrobek, který je ještě v konstrukčním stádiu;
- PFMECA (Process Failure Mode Effects Analysis) – FMECA procesu, analyzuje vlastní výrobu nebo montáž;
- SFMECA (System Failure Mode Effects Analysis) – FMECA systému, analyzuje systémy a podsystémy v raném stádiu, zaměřuje se na vzájemné působení mezi systémy a částmi systémů.

Kromě těchto tří nejužívanějších existují dále ještě například FMECA softwaru, návrhu, zařízení, atd. [4]

Každá FMECA analýza je originální. Při vytváření nové analýzy není vhodné přebírat výsledky z jiných analýz, i když se proces nebo výrobek jeví jako velmi podobný. Okolní prostředí zkoumaného systému je vždy rozdílné.

1.3 DFMECA – FMECA konstrukce

Ideální je, odhalit většinu možných vzniků chyb ve výrobním procesu již při konstruování výrobku. Nástrojem, kterým toho lze dosáhnout je konstrukční FMECA. Cílem je eliminovat anebo alespoň zmírnit chyby, které mohou být způsobeny nedostatky v konstrukci. FMECA konstrukce probíhá v etapách, jak bylo popsáno v předchozí podkapitole.

1.3.1 Analýza současného stavu

Na počátku je potřeba tým FMECA seznámit s navrhovaným konstrukčním řešením a požadavky zákazníka. To obstará odpovědný pracovník konstrukce. Pokud je výrobek složen z více částí, je nutné probrat všechny části, z nichž je výrobek sestaven. [8]

Jakmile je tým FMECA seznámen s funkcí a navrhovanou konstrukcí výrobku, začne tým analyzovat postupně jednotlivé části výrobku a hledat vady, které mohou v životním cyklu výrobku nastat. Vady se popisují jako fyzikální jevy a nikoliv jako následky vad, kterými se projeví zákazníkovi [5]. Jsou mezi ně zahrnuty i vady, které mohou vzniknout pouze za zvláštních podmínek provozu [8]. Mezi zvláštní podmínky lze zařadit extrémní teploty, vlivy nečistot, kolísání elektrického napětí, chyby obsluhy, atd. [5].

Po vytipování možných vad se tým FMECA zaměří na příčiny, kterými mohou být jednotlivé vady vyvolány a všechny možné důsledky způsobené těmito vadami. Příčiny vzniku vad jsou hledány v konstrukčním návrhu. Jakmile jsou vytipovány všechny možné chyby, jejich příčiny a důsledky, tým FMECA přistoupí ke druhé fázi tj. hodnocení současného stavu.

1.3.2 Hodnocení současného stavu

Tým FMECA nejprve analyzuje postupy, jaké jsou používány k verifikaci vhodnosti navrhovaného konstrukčního řešení (modelování, testování, prototypové zkoušky) [8]. Celkové hodnocení každé z možných vad je složeno ze tří faktorů [2]:

- pravděpodobnost výskytu vady,
- význam vady,
- pravděpodobnost odhalení vady.

Každý ze tří výše uvedených faktorů je zpravidla hodnocen bodovou stupnicí 1 až 10. Pokud je to vhodné lze použít stupnice jiné, například 1 až 5. U pravděpodobnosti výskytu vady hodnotí tým FMECA technické možnosti vzniku vady určitou příčinou v průběhu plánované životnosti. Bodové hodnocení pravděpodobnosti výskytu vady lze provést podle tabulky 1.1.

Tab. 1.1 Hodnocení očekávaného výskytu vady u FMECA konstrukce [9].

pravděpodobnost výskytu vady	možný výskyt vad	hodnocení
velmi vysoká: vada je téměř nevyhnutelná	≥ 1 ze 2	10
	1 z 3	9
vysoká: opakované vady	1 z 8	8
	1 z 20	7
střední: občasné vady	1 z 80	6
	1 ze 400	5
	1 z 2 000	4
nízká: relativně málo vad	1 z 15 000	3
	1 z 150 000	2
vzdálená: vada je nepravděpodobná	≤ 1 z 1 500 000	1

U významu vady se hodnotí nejzávažnější důsledek vady. Východiskem, pro hodnocení významu vady může být tabulka 1.2.

Tab. 1.2 Hodnocení významu vady u FMECA konstrukce [9].

důsledek vady	význam vady	Hodnocení
nebezpečný – bez výstrahy	Vada bez výstrahy ovlivňuje bezpečnost výrobku nebo dodržování zákonných požadavků.	10
nebezpečný – s výstrahou	Vada ovlivňuje bezpečnost výrobku nebo dodržování zákonných požadavků s výstrahou.	9
velmi vážný	Nefunkční výrobek se ztrátou hlavní funkce.	8
vážný	Funkční výrobek se sníženou výkonností, zákazník je nespokojen.	7
střední	Funkční výrobek s nefunkční částí zajišťující pohodlí, zákazník pociťuje nepohodlí.	6
nízký	Funkční výrobek s částí zajišťující pohodlí pracují na nižší úrovni, zákazník pociťuje určitou nespokojenost.	5
velmi nízký	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají, vadu zaznamená většina zákazníků.	4
malý	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají, vadu zaznamená průměrný zákazník.	3
velmi malý	Ozdobné nebo tlumicí prvky neodpovídají, vadu zaznamená náročný zákazník.	2
žádný	Žádný následek.	1

V posledním bodě hodnocení se vychází z posouzení účinnosti kontrolních postupů, používaných k ověřování konstrukce [8]. Tabulka 1.3 uvádí bodová ohodnocení možnosti odhalení vad.

Tab. 1.3 Hodnocení detekce vady u FMECA konstrukce [9].

možnost odhalení	pravděpodobnost odhalení vady při posuzování návrhu výrobku	hodnocení
absolutně ne-možná	Posuzování návrhu výrobku neodhalí možnou příčinu vady ani následnou vadu nebo se posuzování neprovádí.	10
velmi vzdálená	Velmi vzdálená možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	9
vzdálená	Vzdálená možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	8
velmi malá	Velmi malá možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	7
malá	Malá možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	6
průměrná	Průměrná možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	5
mírně nadprůměrná	Mírně nadprůměrná možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	4
vysoká	Vysoká možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	3
velmi vysoká	Velmi vysoká možnost, že posuzování návrhu výrobku odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	2
téměř jistá	Posuzování návrhu výrobku téměř jistě odhalí možnou příčinu vady nebo následnou vadu.	1

Po obodování bude tedy mít každá vada, která může nastat, jedno hodnocení pro každý ze tří faktorů. Nyní se pro každou vadu vypočítá tzv. rizikové číslo (RPN, risk priority number).

Rizikové číslo pro konkrétní vadu:

$$RPN = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (1.1)$$

Kde: f_1 ... pravděpodobnost výskytu konkrétní vady [-],

f_2 ... význam konkrétní vady [-],

f_3 ... pravděpodobnost odhalení konkrétní vady [-].

Velikost rizikového čísla určuje kritičnost vady a na které vady se má tým FMECA přednostně zaměřit ve třetí etapě – návrh preventivních opatření. Postup, kterým bude určeno, které vady jsou kritické a které nevýznamné je popsán v podkapitole 1.6.1.

1.3.3 Návrh preventivních opatření

Jak bylo zmíněno v předchozí podkapitole, opatření, která tým FMECA navrhne, budou zaměřena na nejrizikovější možné vady. Tato preventivní opatření, by měla být v první řadě zaměřena na snížení pravděpodobnosti výskytu vady, ale mohou být také zaměřena na snížení následků vady, případně zvýšení pravděpodobnosti jejího odhalení [8].

Po vypracování návrhu preventivních opatření je tento návrh předložen vedoucímu konstrukce ke schválení, přidělení odpovědnosti za realizaci a stanovení termínů pro realizaci opatření [8].

1.3.4 Hodnocení stavu po provedení preventivních opatření

Nyní tým FMECA opět hodnotí míry rizika vad, na které byla zaměřena preventivní opatření. Porovnání rizik před a po provedení preventivních opatření slouží k posouzení účinnosti provedených opatření [8]. Nyní lze stanovit nové pořadí kritičnosti možných vad a podle potřeby navrhnout další opatření.

1.4 PFMECA – FMECA procesu

FMECA procesu se provádí před zahájením výroby nového výrobku, inovovaného výrobku nebo při změně výrobního postupu. FMECA procesu často navazuje na FMECU konstrukce a využívá jejích výsledků. Předchozí FMECA konstrukce však není podmínkou pro vyhotovení FMECA procesu. [8]

Postup při provádění analýzy je obdobný jako při FMECA návrhu. Lze využít i stejný formulář, který byl použit k analýze konstrukce výrobku. Nyní se však tým FMECA zaměřuje na navrhovaný výrobní postup součásti, ve kterém hledá příčiny všech možných vad.

1.4.1 Analýza současného stavu

Nejprve je tým FMECA seznámen s návrhem výrobního postupu. Následně tým analyzuje všechny dílčí operace v návrhu výrobního postupu a zaměří se na všechny možné vady a jejich příčiny a důsledky.

1.4.2 Hodnocení současného stavu

Vady, které tým FMECA identifikoval v předchozím kroku, se nyní ohodnotí. Hodnotí se opět 3 faktory – pravděpodobnost výskytu, význam a pravděpodobnost odhalení vady. Hodnocení probíhá dle obdobné stupnice, jako tomu bylo u FMECA konstrukce. Při hodnocení významu vady u FMECA procesu lze postupovat podle tabulky 1.4.

Tab. 1.4 Hodnocení významu vady u FMECA procesu [9].

důsledek vady	význam vady	hodnocení
nebezpečný – bez výstrahy	Může ohrozit obsluhu zařízení nebo pracovníka montáže. Vada nastane bez výstrahy a ohrožuje bezpečnost nebo dodržení zákonných požadavků.	10
nebezpečný – s výstrahou	Může ohrozit obsluhu zařízení nebo pracovníka montáže. Vada nastane s výstrahou a ohrožuje bezpečnost nebo dodržení zákonných požadavků.	9
velmi vážný	Významná porucha na výrobní lince, 100 % výrobků neshodných. Výrobek nefunkční se ztrátou hlavní funkce. Zákazník je velmi nespokojen.	8
vážný	Menší poruchy na výrobní lince, méně než 100 % neshodných výrobků, výrobky musí být vytříděny. Výrobek funkční s omezením. Zákazník je nespokojen.	7
střední	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků se musí vyřadit. Výrobek je funkční, ale části zajišťující pohodlí nejsou funkční. Zákazník pociťuje nepohodlí.	6
nízký	Menší porucha na výrobní lince, 100 % výrobků musí být přepracováno. Výrobek je funkční, ale části zajišťující pohodlí mají sníženou úroveň. Zákazník pociťuje určité neuspokojení.	5
velmi nízký	Menší porucha na výrobní lince, výrobek musí být tříděn a část přepracována. Ozdobné a tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená většina zákazníků.	4
malý	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků bude muset být přepracována, ale mimo výrobní cyklus. Ozdobné a tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená průměrný zákazník.	3
velmi malý	Menší porucha na výrobní lince, část výrobků bude muset být přepracována, ale bez narušení výrobního cyklu. Ozdobné a tlumicí prvky neodpovídají. Vadu zaznamená náročný zákazník.	2
žádný	Žádný následek.	1

Pro bodové ohodnocení pravděpodobnosti výskytu vady u FMECA procesu lze použít tabulka 1.5.

Tab. 1.5 Hodnocení očekávaného výskytu vady u FMECA procesu [9].

pravděpodobnost výskytu vady	možný výskyt vad	hodnocení
velmi vysoká: vada je téměř nevyhnutelná	≥ 1 z 2	10
	1 z 3	9
vysoká: odpovídající podobným předcházejícím procesům, u nichž často docházelo k výskytu vad	1 z 8	8
	1 z 20	7
průměrná: odpovídající podobným předcházejícím procesům, u kterých se občas vada vyskytla, ale ne ve významném rozsahu	1 z 80	6
	1 ze 400	5
	1 z 2 000	4
nízká: u podobných procesů se vyskytly pouze ojedinělé vady	1 z 15 000	3
Velmi nízká: u téměř identických procesů se vyskytly pouze ojedinělé vady	1 z 150 000	2
vzdálená: u téměř identických procesů nebyla vada nikdy zaznamenána	≤ 1 z 1 500 000	1

Při hodnocení možnosti odhalení vady u FMECA konstrukce, lze vycházet z tabulky 1.6.

Tab. 1.6 Hodnocení detekce vady u FMECA procesu [9].

možnost odhalení	pravděpodobnost odhalení vady	hodnocení
absolutně nemožná	K odhalení vady nejsou k dispozici žádné známé kontroly.	10
velmi vzdálená	Velmi vzdálená pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	9
vzdálená	Vzdálená pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	8
velmi malá	Velmi malá pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	7
malá	Malá pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	6
průměrná	Průměrná pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	5
mírně nadprůměrná	Mírně nadprůměrná pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	4
vysoká	Vysoká pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	3
velmi vysoká	Velmi vysoká pravděpodobnost, že stávající kontroly vadu odhalí.	2
téměř jistá	Stávající kontroly téměř jistě vadu odhalí. U podobných procesů jsou známy spolehlivé kontroly.	1

Následně tým vypočte riziková čísla pro všechny identifikované vady. Postup výpočtu je stejný jako u FMECA konstrukce a probíhá podle vztahu (1.1).

1.4.3 Návrh preventivních opatření

Po výpočtu rizikových čísel je dalším krokem určit, které z možných vad jsou kritické. A pro tyto vady budou navržena preventivní opatření. Předně by měla být navržena opatření snižující pravděpodobnost výskytu vad. Soubor navržených preventivních opatření předkládá tým FMECA odpovědnému vedoucímu ke schválení, rozdělení pravomocí, úkolů a stanovení termínu realizace. [8]

1.4.4 Hodnocení stavu po provedení preventivních opatření

Po provedení opatření tým FMECA opět zhodnotí kritičnost možných vad, na které zaměřil preventivní opatření. Pokud by se ukázalo, že provedená opatření byla málo účinná, tým FMECA navrhne další opatření ke zmírnění kritičnosti nejzávažnějších vad.

1.5 SFMECA – systémová FMECA výrobku a procesu

Systémová FMECA výrobku nebo procesu využívá stejných principů jako FMECA konstrukce a FMECA procesu. Při vyhotovování systémové FMECA se ale důsledně uplatňuje systémový přístup.

Výrobek a proces je zde chápán jako systém, který je složen z prvků v různých hierarchických úrovních. U těchto prvků jsou analyzovány jejich funkce. Možné vady, jejich příčiny a důsledky jsou uvažovány jako selhání těchto funkcí. [9]

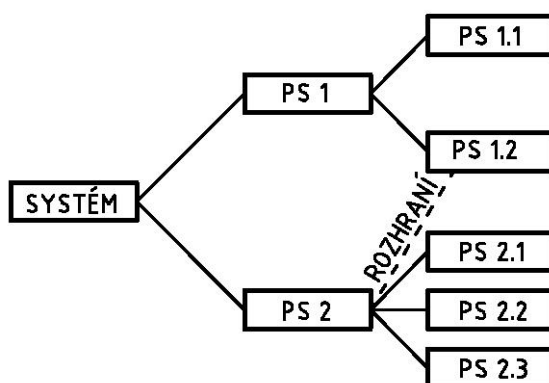
Systémová FMECA výrobku je zaměřena na možné vady celého výrobku a pokračuje až k možným vadám jednotlivých dílů. Při systémové FMECA procesu je proces rozčleněn do prvků – člověk, stroj, materiál a prostředí. Dále se pak analyzují možná selhání těchto prvků, lze pokračovat až k analýze možných selhání výrobního zařízení. [9]

Průběh systémové FMECA lze rozdělit do následujících kroků [9]:

- stanovení prvků a struktury systému,
- stanovení struktury funkcí prvků systému,
- analýza vad (vadných funkcí prvků v systému),
- hodnocení rizik,
- optimalizace.

V prvním kroku systémové FMECA je zpracován diagram hierarchické struktury prvků systému. Diagram je doplněn o tzv. rozhraní. Rozhraní vymezuje prvky systému, které spolu souvisí, např. stýkající se plochy [9].

Příklad diagramu struktury systému lze spatřit na obrázku 1.1. Systém je tvořen třemi úrovněmi. Na první úrovni je systém jako celek. Na druhé úrovni jsou prvky „PS 1“ a „PS 2“. Tyto dva prvky jsou dále tvořeny prvky třetí úrovně. Prvek „PS 2“ je přes rozhraní propojen s prvkem „PS 1.2“.



Obr. 1.1 Diagram struktury systému – podle [9].

Po identifikaci všech prvků se u každého z nich rozlišují vstupní, výstupní a vnitřní funkce. Výstupní funkce jsou, které prvek plní vzhledem k nadřazenému prvku systému nebo k jinému prvku přes rozhraní. Vstupními funkcemi jsou ty, které pro daný prvek systému plní prvky podřazené, případně jiné prvky přes rozhraní. Vnitřní funkce jsou funkce, které mohou být ve struktuře funkcí zobrazeny bez překročení rozhraní. [9]

Jako u FMECA konstrukce a FMECA procesu i zde se možné příčiny vad a možné následky vad zaznamenávají do formuláře. Formulář pro FMECA systému se od předcházejících nepatrně liší. [9]

Rozdíl je v tom, že formulář neobsahuje sloupce pro hodnocení stavu po provedení preventivních opatření, protože se toto hodnocení zaznamenává pod prvotní hodnoty. Ve formuláři je nově přidán sloupec pro záznam opatření, realizovaných k omezení výskytu vady. Kromě základního formuláře je vypracováván také formulář pro sledování opatření. V tomto formuláři jsou zaznamenána přijatá opatření a sleduje se míra jejich plnění. [9]

možné následky vad	možné vady	možné příčiny vad
I.	II.	III.
vadná funkce systému	vadná funkce PS 1	vadná funkce PS 1.1
		vadná funkce PS 1.2
	vadná funkce PS 2	vadná funkce PS 1.2 – přes rozhraní
		vadná funkce PS 2.1
		vadná funkce PS 2.2
		vadná funkce PS 2.3

Obr. 1.2 Struktura vadných funkcí v systému – podle [9].

Analýzy FMECA jsou prováděny pro různé hierarchické úrovně v systému. Díky tomu dochází k překrývání analýz. Tato situace je zobrazena na obrázku 1.2. V systémové FMECA 3. úrovně jsou vadné funkce některého z prvků systému, např. „PS 1.1“ (možnými) příčinami vad. V systémové FMECA 2. úrovně jsou tyto vadné funkce

analyzovány jako (možné) vady. V systémové FMECA 1. úrovně jsou tyto vadné funkce zkoumány jako (možné) následky vad. [9]

Hodnocení rizik je u FMECA systému obdobné jako u FMECA konstrukce a FMECA procesu. Rizikové číslo je stanoveno na základě [9]:

- významu vady,
- pravděpodobnosti výskytu vady,
- pravděpodobnosti odhalení vady.

Význam vady je posuzován podle významu následku vady pro celý systém. Očekávaný výskyt vady je hodnocen s ohledem na použitá opatření k omezení výskytu a je charakterizován množstvím vadných výrobků. Hodnocení možnosti odhalení vady zohledňuje použitá opatření k odhalení příčiny vady. [9]

U možných vad s vysokým rizikovým číslem, popřípadě s vysokým hodnocením některého z hodnocených faktorů jsou navržena opatření ke zlepšení – optimalizaci. Při navrhování opatření by měla mít opět přednost opatření k minimalizaci výskytu příčin vad [9].

Po realizaci navržených opatření se opět jako v případech FMECA konstrukce a FMECA procesu hodnotí účinnost provedených opatření. Jsou přepočítána riziková čísla, a pokud jsou i nadále příliš vysoká jsou navržena nová opatření k jejich snížení.

1.6 Vyhodnocování FMECA analýzy

Jak bylo uvedeno v podkapitole 1.2 pro vyhodnocení analýzy FMECA lze užít dvou metod. Hodnocení podle RPN a podle matice kritičnosti. V následujícím textu jsou tyto metody detailně rozebrány.

1.6.1 Hodnocení rizika podle RPN a dílčího hodnocení

Často používaná hranice rizikového čísla je 125 [9]. Číslo 125 odpovídá průměrnému hodnocení všech tří bodovaných kritérií. Pokud tedy některé z vypočtených čísel RPN převýší hodnotu 125 je potřeba navrhnout preventivní opatření ke zmenšení tohoto čísla. Postupuje se podle zásady, která byla zmíněna například v podkapitole 1.3.3.

Hranice čísla RPN nemusí být vždy 125, může být určena například zákazníkem. Pro výrobky u kterých je potřeba dosáhnout velmi vysoké spolehlivosti je určena nižší hranice [9].

Kromě výše uvedené hranice (125), je potřeba také prověřit jestli při hodnocení možných vad nevznikl některý ze speciálních případů uvedených v tabulce 1.7 [9].

Tab. 1.7 Speciální případy hodnocení možných vad [9].

význam	výskyt	možnost odhalení	charakteristika	potřeba opatření
1	1	1	ideální stav	ne
1	1	10	bezpečně řízený proces	ne
10	1	1	vada se nedostane k zákazníkovi	ano
10	1	10	vada se může dostat k zákazníkovi	ano
1	10	1	častá, snadno odhalitelná vada	ano
1	10	10	častá vada, která se může dostat k zákazníkovi	ano
10	10	1	častá vada velkého významu	ano
10	10	10	nejhorší možný stav	ano

Z tabulky 1.7 je patrné, že mohou nastat případy kdy je RPN nižší než kritická hranice (125), ale i přesto je nutné zavést opatření pro snížení vypočteného RPN [2]. Například porucha s velmi vysokou možností odhalení (2), nízkou intenzitou výskytu (3) a velmi vysokou závažností (10) bude mít RPN = 60. Přestože je 60 mnohem nižší než 125 je zapotřebí navrhnout pro tuto vadu preventivní opatření. Kromě vypočteného RPN je tedy ještě nutno kontrolovat, zda se v dílčích hodnoceních nevyskytují vysoké hodnoty [2].

1.6.2 Nedostatky RPN

Kromě výše zmíněné nutnosti kontrolovat i dílčí hodnocení možných vad existují ještě další nedostatky souhrnného RPN. Jedná se o [2]:

- totožná čísla RPN – při některých kombinacích hodnocených faktorů lze dosáhnout stejného RPN (například $8 \cdot 3 \cdot 4 = 96$ a $3 \cdot 8 \cdot 4 = 96$),
- citlivost na malé změny – malá změna jednoho faktoru má mnohem větší vliv, jestliže jsou jiné faktory větší, než když jsou malé (například $9 \cdot 9 \cdot 3 = 243$ a $9 \cdot 9 \cdot 4 = 324$, kdežto $3 \cdot 3 \cdot 4 = 36$ a $3 \cdot 3 \cdot 5 = 45$),
- mezery v rozsazích – je generováno pouze 120 čísel z 1 000,
- nepřiměřený převod jednotek – poměry v tabulce výskytů nejsou lineární (mezi následujícími třídami může být poměr 2 nebo 2,5),
- zavádějící závěry plynoucí z porovnávání čísel RPN.

Z výše uvedených bodů plyne, že při vyhodnocování čísel RPN je potřeba opatrnost a dobrý úsudek. Proto je výhodné, aby se před návrhem preventivních opatření provedlo důsledné přezkoumání hodnot závažnosti, výskytu a možnosti odhalení [norma].

1.6.3 Hodnocení pomocí matice kritičnosti

Kromě rizikového čísla RPN lze analýzu FMECA vyhodnotit maticí kritičnosti. Při použití matice kritičnosti je nutno nejprve definovat kritičnost. Kritičnost je definována pracovníky provádějící FMECA a definice musí být přijata vedením projektu nebo

programu. V různých odvětvích se definice kritičnosti značně liší. Matice kritičnosti je zobrazena na obrázku 1.3. [2]

klasifikace pravděpodobnosti výskytu	5				vysoké riziko
	4		způsob poruchy 1		
	3				
	2			způsob poruchy 2	
	1	nízké riziko			
		I	II	III	IV
	závažnost				

Obr. 1.3 Matice kritičnosti [2].

Z obrázku 1.3 je patrné, že závažnost se zvyšuje s rostoucím pořadovým číslem. Největší závažnost připadá číslu IV. Pravděpodobnost výskytu se rovněž s rostoucím číslem zvětšuje. V praxi se často používá matice s následující stupnicí pravděpodobnosti výskytu [2]:

- 1, nepravděpodobný výskyt, pravděpodobnost výskytu: $0 \leq P_i < 0,001$,
- 2, velmi slabý výskyt, pravděpodobnost výskytu: $0,001 \leq P_i < 0,01$,
- 3, občasný výskyt, pravděpodobnost výskytu: $0,01 \leq P_i < 0,1$,
- 4, pravděpodobný výskyt, pravděpodobnost výskytu: $0,1 \leq P_i < 0,02$,
- 5, častý výskyt, pravděpodobnost výskytu: $P_i \geq 0,2$.

Tabulka 1.9 ukazuje, jak mohou být definovány jednotlivé třídy závažnosti v matici kritičnosti.

Tab. 1.9 Významnost poruchy na provoz, prostředí nebo obsluhu objektu [7].

třída	úroveň závažnosti	následek
I	bezvýznamná	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně zhoršit funkce systému, ale nezpůsobí žádné škody systému a není hrozbou pro život nebo zranění osob.
II	okrajová	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně zhoršit technické parametry (výkonnost) funkce bez znatelné škody na systém nebo hrozby pro život nebo zranění osob.
III	kritická	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí není vážnou hrozbou pro život nebo zranění osob.
IV	katastrofická	Způsob poruchy, který by mohl potenciálně vést k poruše základních funkcí systému a tudíž způsobit vážnou škodu systému a jeho prostředí nebo zranění osob.

Způsob poruchy 1 na obrázku 1.3 má vyšší pravděpodobnost výskytu než způsob poruchy 2, který má ale o něco větší závažnost. Rozhodnutí, na který způsob poruchy se zaměřit závisí na stanovené stupnici pravděpodobnosti výskytu a závažnosti [2].

Způsob poruchy 1 má vyšší pravděpodobnost výskytu než způsob poruchy 2, tudíž by na tento způsob poruchy měla být zaměřena preventivní opatření. Mohou ovšem existovat i případy, kdy má závažnost absolutní prioritu nad četností výskytu. V takovém případě budou preventivní opatření zaměřena na způsob poruchy 2. [2]

Pokud je koncovým produktem matice kritičnosti, lze ji vyhotovit na základě přidělených četností a závažností. Přijatelnost rizika lze stanovit subjektivně nebo se řídí profesionálními a finančními rozhodnutími v různých druzích průmyslu. [2] V tabulce 1.10 je zobrazen příklad tříd přijatelnosti soužící k vyhodnocení matice kritičnosti.

Tab. 1.10 Třídy přijatelnosti rizika [2].

četnost výskytu způsobu poruchy	úrovně závažnosti			
	1 nevýznamná	2 okrajová	3 kritická	4 katastrofická
5: četný výskyt	nežádoucí	nepřípustné	nepřípustné	nepřípustné
4: pravděpodobný výskyt	přípustné	nežádoucí	nepřípustné	nepřípustné
3: občasný výskyt	přípustné	nežádoucí	nežádoucí	nepřípustné
2: velmi slabý výskyt	zanedbatelné	přípustné	nežádoucí	nežádoucí
1: nepravděpodobný výskyt	zanedbatelné	zanedbatelné	přípustné	přípustné

1.7 Náklady a optimalizace provádění FMECA

O použití FMECA analýzy lze rozhodnout teprve po vytvoření představy o nákladech na její provedení a o očekávaném prospěchu z provedené analýzy. Je nutné si uvědomit, že investované prostředky se budou vracet až v průběhu určité doby a že bez této investice hrozí riziko velkých finančních ztrát. Jaké nároky na čas a peníze nasazení FMECA vyvolá nelze odhadnout bez přesné znalosti konkrétního výrobku, použití, trhu atd. [5]

FMECA případně jiná analyticko-preventivní metoda musí být použita na každý výrobek, na jehož použití se vztahují bezpečnostní předpisy [5]. Potřeba metody FMECA roste se zvyšujícími se nároky na kvalitu a spolehlivost i v méně rizikových odvětvích. Čím více nad účetními náklady na vady převažují náklady na odstranění následků možných vad tím více se FMECA vyplatí [5].

1.7.1 Rozbor nákladů

Náklady na analýzu FMECA jsou velmi vysoké, zvláště ta úplně první která je v podniku prováděna. Proto nelze provádět FMECA náhodně, ale musí být zařazena v rozumné celkové koncepci [5].

Na očekávané náklady mají příznivý vliv následující faktory [5]:

- výrobci vyrábějí zpravidla omezený počet výrobků z určitého spektra,

- většina výrobků vykazuje vysoký stupeň shody,
- většina nových výrobků je inovací výrobků předchozích.

Pokud se pečlivě provede první FMECA pro správně vybraný výrobek z vyráběného sortimentu, může tato FMECA sloužit jako vzor pro další výrobky daného druhu. Tím klesají náklady na další FMECA, protože je nutné analyzovat pouze nové a inovované znaky [5]. Čím více zkušeností mají pracovníci s vyhotovováním FMECA tím se snižuje časová náročnost dalších FMECA.

1.7.2 Optimalizace provádění FMECA

Kromě toho, že se pracovníci prováděním FMECA sami zlepšují, existuje několik možností jak optimalizovat provádění FMECA [5]:

- A. školení pracovníků,
- B. standardizace postupů,
- C. správa dat a nasazení výpočetní techniky.

A) Školení pracovníků

Čím lépe jsou pracovníci proškoleni, tím více se ztotožní s metodou FMECA a tím menší budou časové nároky na její provedení. Dobrá znalost metody FMECA je nutná k dosažení kvalitního výsledku analýzy.

Osvědčilo se začít přednáškou o vlastní metodě. Následně by měla být dána pracovníkům možnost získat znalosti samostudiem z literatury, aby se v další části skupinového školení mohlo přejít k největším problémům a nesrovnalostem. Prohloubení znalostí musí přinést navazující praktické práce. [5]

Podle dosavadních zkušeností jsou pracovníci, kteří se seznámili s FMECA v každodenní práci více přístupnější [5]:

- logickému analytickému postupu řešení,
- týmovému řešení problémů,
- rozumným výrobním a uživatelským požadavkům.

B) Standardizace postupů

Před prováděním první FMECA je vhodné vytvořit pro dané použití katalogy. Ušetří se tím čas při provádění FMECA. Vytvoření například katalogu následků vad zamezí nutnosti následky vad znovu a znovu popisovat. Tým FMECA si rychle osvojí popisovat následky vad příslušnými zkratkami a zvýší tím efektivitu. [5]

C) Správa dat a nasazení výpočetní techniky

Pro výrobky příbuzného použití je možno vytvořené katalogy uložit do paměti počítače. Katalogy lze průběžně doplňovat a aktualizovat, tím vznikne datová základna, která dokumentuje příslušné odborné know-how [5].

2. PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Společnost, ve které byla analýza FMECA prováděna sídlí v Brně. Název společnosti nebude v práci uváděn, protože si společnost nepřeje, aby se v práci vyskytoval. Společnost vyrábí a dodává hydraulické, pneumatické a automatizační prvky. Své produkty prodává zákazníkům v České republice i v zahraničí. Ve svém výrobním závodě se vyrábí zejména šroubení, ventily, tlakové spínače a pneumatické pohony.

3. PŘEDSTAVENÍ VÝROBKU A VÝROBNÍHO PROCESU

Ve spolupráci s touto brněnskou společností byla provedena procesní FMECA, jejíž hlavní cíl je snížit množství vyrobených neshodných kusů.

3.1 Představení výrobku

Výsledkem výrobního procesu, který je v této práci analyzován, je výrobek zobrazený na obrázku 3.1 a 3.2. Jedná se o zapouzdřenou cívku, která je uložena v tělese pneumatického proporcionálního ventilu.

Cívka je vyráběna ve dvou provedeních. Provedení 1 má kontakty orientovány vodorovně.



Obr. 3.1 Cívka pneumatického proporcionálního ventilu, typ 1.

Provedení 2 má kontakty orientovány svisle. Provedení 1 i 2 je vyráběno s různými hodnotami elektrického odporu podle přání zákazníka. Elektrický odpor se u obou typů pohybuje v rozmezí 8 Ω až 50 Ω .



Obr. 3.2 Cívka pneumatického proporcionálního ventilu, typ 2.

Ventil jako celek je užíván v automobilovém průmyslu, konkrétně u nákladních automobilů. Samotný ventil je kromě těla ventilu a cívky složen i z dalších částí (jádro cívky, konektor, atd.). Žádná z těchto dalších částí se ale v Brně nevyrábí. Jmenovité parametry cívek 1 jsou vypsány v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Základní jmenovité parametry cívek.

jmenovité parametry cívek		
parametr	typ 1	typ 2
průměr navíjeného drátu	- 0,265 mm - 0,355 mm - 0,400 mm	- 0,265 mm - 0,355 mm - 0,400 mm
vnější průměr pouzdra	28 mm	28 mm
vnitřní průměr špulky	16,5 mm	16,5 mm
délka cívky	42 mm	42 mm
hmotnost	0,8 Kg	0,8 kg
elektrický odpor cívky	8 Ω až 50 Ω	8 Ω až 50 Ω
médium	vzduch	vzduch
optimální provozní tlak média	statický tlak 0 MPa až 0,7 MPa	statický tlak 0 MPa až 0,7 MPa
	konečný tlak 0,85 MPa až 1,25 MPa	konečný tlak 0,85 MPa až 1,25 MPa
rozsah pracovních teplot	-40 °C až 140 °C	-40 °C až 140 °C

Cívky pneumatických ventilů jsou vystaveny extrémním podmínkám, jako jsou vysoké teploty, střídání teplot a vibrace.

3.2 Představení výrobního procesu

Jak již bylo jednou řečeno, v brněnském závodě se provádí pouze výroba cívek. Vyrobené cívky jsou v Brně podrobeny 100% výstupní kontrole a odeslány do jiného podniku na kompletaci. Zde je provedena montáž celého pneumatického proporčního ventilu. Takto zkompletovaný ventil je odeslán zpět do Brna, kde je provedena jeho kontrola. Následně je ventil odeslán zákazníkovi.

Proces výroby obou typů cívek je velmi podobný. Ve výrobním procesu obou cívek se vyskytují stejné technologické operace a stroje. Výjimku tvoří pouze operace posouvání drátku, která se provádí při výrobě cívek typu 2.

Proces výroby cívky se skládá z následujících technologických operací:

- zalisování (naražení) kontaktů do plastové špulky,
- navíjení drátu na špulku a obmotání kontaktů drátem,
- svaření kontaktů a drátu,
- ruční posouvání drátku (pouze typ 2),

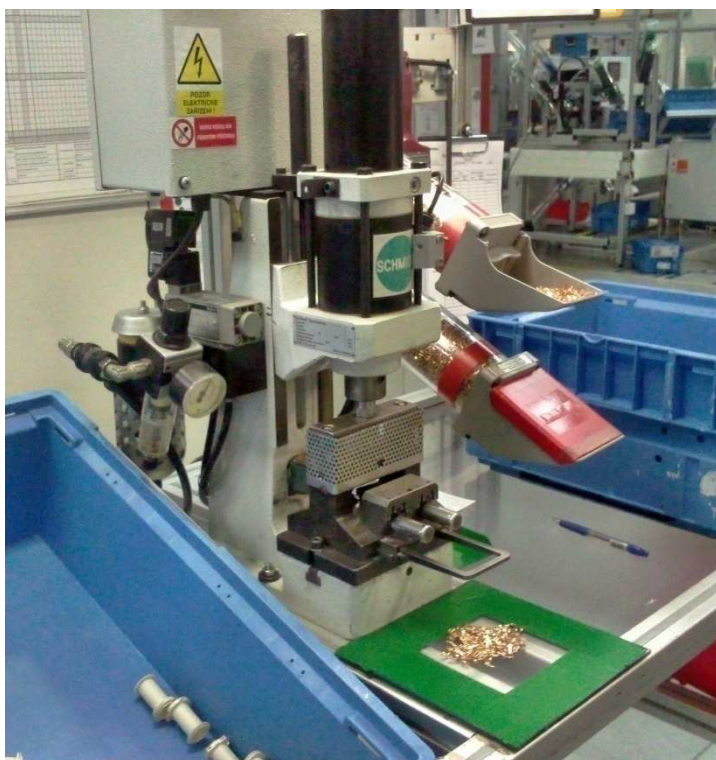
- zapouzdření cívky,
- kontrola před odesláním na kompletaci.

Po každé operaci, kromě ručního posouvání drátku je ve výrobním procesu zařazena kontrola. Pracovník provádí 100% vizuální kontrolu. Případné neshody jsou zapisovány do formuláře, který spolu s výrobní dávkou prochází výrobou. Neshodné kusy jsou vyhazovány do beden k tomu určených. Další přetřídování neshodných kusů se již neprovádí.

Kontakty, plastový profil špulky ani navíjený drát se v brněnské společnosti nevyrábí. Tyto komponenty jsou nakupovány od dodavatelů.

3.2.1 Lisování (narážení) kontaktů do plastové špulky

V první části výrobního procesu jsou do plastové špulky naráženy bronzové kontakty. Narážení se provádí na pneumatickém lisu, viz obrázek 3.3.



Obr. 3.3 Pracoviště pro narážení kontaktů.

Na obrázku 3.3 si lze také povšimnout dvou modrých beden. Bedna nalevo obsahuje polotovary (špulky) a do bedny napravo jsou vkládány špulky s naráženými kontakty. U stroje jsou upevněny dva zásobníky kontaktů, viz obrázek 3.4.

V horním zásobníku jsou kontakty pro výrobu cívek typu 2 a v dolním pro výrobu cívek typu 1. Na začátku směny mistr určí, který typ cívky se bude vyrábět a zásobníky barevně odliší (zelené a červené víko).



Obr. 3.4 Zásobníky kontaktů.

Před začátkem výroby operátor zkontroluje tlak na manometru a případně provede úpravu tlaku podle pracovního postupu. Dále zkontroluje lisovací nástroj. Pokud je nástroj určen k výrobě jiného typu cívek upevní na lis nástroj pro cívky, které mají být vyráběny. Jakmile je k lisu připevněn nástroj pro výrobu požadovaného typu cívek, provede se kontrola a případné seřízení razníků. Účelem seřizování razníků je zajistit, aby oba naražené kontakty měly shodnou výšku. Postup pro seřízení razníků je popsán slovně a také pomocí obrázků na vývěsce u lisu.

Před vlastním naražením kontaktů operátor zkontroluje špulku a kontakty. Pokud na špulce nebo na kontaktech nalezne nějaké viditelné vady, vyřadí je do příslušné bedny. Když operátor žádné vady neodhalí, vloží špulku a kontakty do nástroje, viz obrázek 3.5.



Obr. 3.5 Přípravek pro narážení kontaktů.

Narážení se provádí po dvou kusech. Jakmile jsou do nástroje vloženy dvě špulky a čtyři kontakty, zasune operátor pohyblivou část nástroje na doraz pod lis. Lis automaticky zalisuje kontakty do špilek.

Po narážení operátor vyjme hotové kusy a kontroluje, zda nedošlo k deformaci špulky nebo kontaktů. Jsou-li operátorem odhaleny nějaké nepřípustné vady je špulka vyřazena do krabice pro neshodné kusy. Pokud je vyrobený kus v pořádku, je vložen do příslušné bedny, kde si ho později vezme operátor navíjecího automatu.

3.2.2 Navíjení drátu na špulku

Před začátkem navíjení zkontroluje seřizovač stroj a navíjecí trny. Pokud jsou ve stroji trny z jiné předchozí výroby, vymění je za trny pro následující výrobu. Dále seřizovač zapne stroj a zvolí NC program pro příslušný typ cívky. Následně je provedena kontrola drátu v konvích. Konve jsou uloženy za strojem, viz obrázek 3.6.



Obr. 3.6 Konve s navíjeným drátem.

Plné konve obsahují 50 Kg měděného drátu a jsou umístěny za strojem. Pokud je vše v pořádku, vloží se na trny vizuálně zkontrolované špulky s naraženými kontakty a vyrobí se zkušební kusy.

První kusy se vyrábí při snížené rychlosti pojezdů a v krokovacím režimu. V průběhu navíjení prvních kusů je měřen tah v drátu, který lze regulovat pomocí odporu brzdy. Když není tah některého drátu ve stanovených hodnotách, seřizovač seřídí příslušnou brzdu.

Po navinutí prvních kusů jsou všechny cívky zkontrolovány. Kontrolovány jsou všechny parametry včetně elektrického odporu. Jestliže jsou kusy v pořádku, seřizovač dá svolení k sériové výrobě.

V sériové výrobě je stroj obsluhován operátorem. Seřizovač je ke stroji volán, pouze pokud vzniknou problémy ve výrobním procesu. Operátor vyjímá z krabice špulky s naraženými kontakty a kontroluje, zda nejsou kontakty zdeformovány. Po kontrole vloží špulky na trny, viz obrázek 3.7.



Obr. 3.7 Navíjecí trny v navíjecím stroji.

Špulka je pomocí kuličky na pružině zafixována ve správné poloze pro navíjení. Po zavření bezpečnostního krytu stroje dojde ke spuštění navíjení v automatickém cyklu. Stroj je schopen najednou navíjet 8 kusů. Průběh navíjení lze vidět na obrázku 3.8. V průběhu navíjení lze ze stroje vyjmout cívky, které byly navinuty v předchozím cyklu.



Obr. 3.8 Začátek navíjení cívek.

Stroj řízený NC programem nejprve obmotá první kontakt drátem a následně začne navíjet jednotlivé závity. Jakmile je navinut takový počet závitů, jaký je specifikován v NC programu je drátem obmotán i druhý kontakt viz obrázek 3.9. Následuje odstříhnutí drátu za kontaktem. Stroj otočí trny směrem k operátorovi a po otevření bezpečnostního krytu mohou být cívky ze stroje vyjmuty.



Obr. 3.9 Obmotané kontakty drátem před svařením

Namotané cívky jsou podrobeny 100% kontrole. Provádí se kontrola tvaru vinutí (kužel, válec, soudeček), volnost vinutí a obmotání kontaktů. Pokud z kontaktu trčí příliš velký odstřížek drátu, je zkrácen ručně pomocí kleští.

Vnitřní průměr špulky je dále zkoušen nasunutím na kalibr. Vnitřní průměr je kontrolován, aby se zjistilo, zda nebyla špulka deformována navinutým drátem (utažené vinutí). Pokud jde do díry kalibr ztuhá, je nebezpečí, že se bude tato cívka špatně vkládat a vyjímat ze vstřikovací formy.

Průměr návinu je kontrolován také kalibrem. Pokud průměr návinu na první pohled přesahuje největší průměr špulky, je cívka z procesu ihned vyřazena. Kontrola elektrického odporu se při sériové výrobě již neprovádí. Kontrola elektrického odporu je zařazena po svaření kontaktů a drátu.

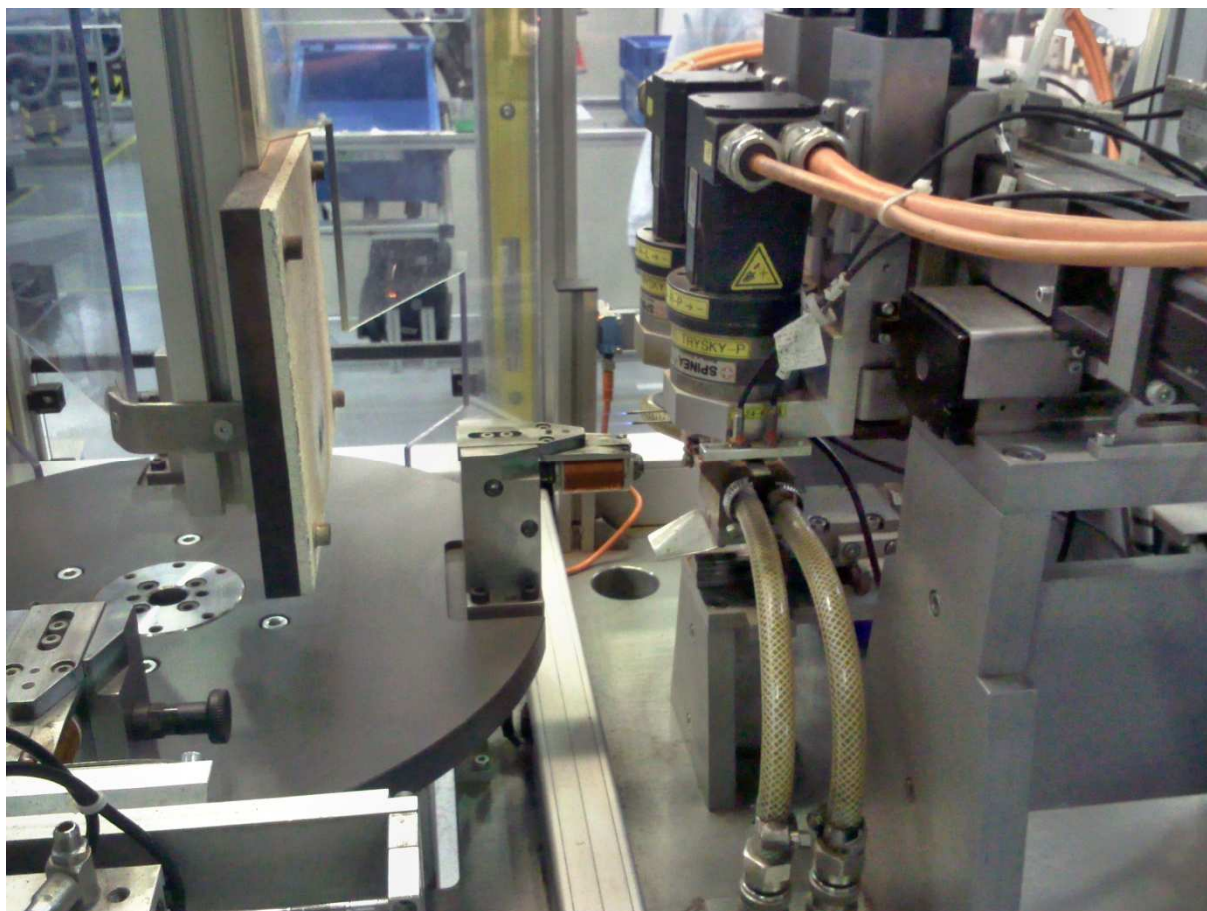
Navinuté a zkontrolované cívky jsou předány ihned ke svaření.

3.2.3 Svařování kontaktů a drátu

Následující operace v procesu výroby cívek je svařování. Svařuje se k sobě kontakt s drátem. Zdrojem tepla pro svařování je kyslíko-vodíkový plamen. Vodík se vyrábí elektrolýzou z destilované vody v reaktoru vedle stroje. Kromě svařování stroj provádí také automatickou kontrolu elektrického odporu po svaření. Stroj je řízen NC programem.

Před začátkem výroby nejprve seřizovač zkontroluje a zapne stroj. Po kontrole stroje je také kontrolován reaktor na výrobu vodíku. Pokud v zásobníku reaktoru není dostatek lihu nebo destilované vody jsou zásobníky seřizovačem doplněny. Seřizovač dále zkontroluje, zda přípravky upnuté na rotačním stole stroje slouží pro výrobu požadovaného typu cívek. Pokud ne, upevní na stůl přípravky, které jsou pro tento typ cívky určené. V řídicím systému stroje je pak zvolen NC program sloužící k výrobě příslušného typu cívek.

Před začátkem sériové výroby je vyroben zkušební kus. Pokud vyhoví požadavkům kontroly, seřizovač dá pokyn k začátku výroby. Sériovou výrobu jako v operaci navíjení provádí operátor. Seřizovač je ke stroji volán, pokud se v průběhu výroby vyskytne v procesu nějaký problém.



Obr. 3.10 Pracovní prostor stroje v průběhu svařování.

Uvnitř pracovního prostoru stroje je otočný stůl, který se zastavuje ve 4 polohách. Pracovní prostor stroje v průběhu svařovacího procesu je zobrazen na obrázku 3.10.

Postup výroby je následující. Operátor vezme navinutou cívku z bedny a zkontroluje, zda jsou kontakty správně obmotány. Cívka je operátorem vložena na trn a zafixována. Po zmáčknutí tlačítka je cívka pootočená do svařovací polohy. Po zastavení stolu se ke kontaktům přisunou trysky s plamenem. Trysky sjedou dolů a následuje přivaření drátku ke kontaktům. Hotový svar lze vidět na obrázku 3.11. V průběhu svařování vkládá operátor na trn další cívku.



Obr. 3.11 Obmotané kontakty drátem po svaření

Po svaření je stůl pootočen do další polohy. V této poloze je prováděno čištění kontaktů pomocí kartáčků (ve svařovací poloze, probíhá nyní opět svařování). Kromě čištění je také částečně kontrolována pevnost svaru. Pokud je svar málo pevný dojde k oddělení drátku od kontaktu. V takovém případě je nesprávně svařený kus vyřazen automatickou kontrolou na konci procesu. Když je druhý cyklus svařování dokončen stůl je opět pootočen.

V poslední poloze dochází k automatické kontrole elektrického odporu. Pokud svařený kus kontrole nevyhoví, je vyhozen na trn s neshodnými kusy. Pokud kontrolou projde jako dobrý, vrátí se opět do první pozice, kde byl vložen na trn. Operátor svařený a zkontrolovaný kus z trnu vyjme a kontroluje jej vizuálně. Jestliže není odhalena žádná vada, kus je vložen do bedny určené pro hotové výrobky.

Při výrobě cívek typu 1 je naplněná bedna přesunuta na pracoviště, kde se odehrává finální výrobní operace – zapouzďení. Cívky typu 2 jsou nejprve přepracovány na ručním pracovišti (posouvání drátku).

3.2.4 Posouvání drátku

Operace s názvem posouvání drátku je prováděna pouze na cívkách typu 2. Provádí se ručně pomocí přípravku. Cílem je upravit polohu drátu na kontaktu, aby drát nevyčníval z pouzdra po zapouzďení. Správná poloha drátu pro zapouzďení je tedy zabezpečena jeho ručním posunutím.

Aby se zamezilo ručnímu zásahu do vinutí, byl zpracován projekt, který měl odstranit tuto ruční operaci z procesu. Jednalo se o konstrukční změnu kontaktů. Testování nového typu kontaktu se ukázalo jako neúčinné a bylo od tohoto projektu upuštěno. Nyní je využíván původní typ kontaktu a poloha drátu na kontaktu je upravována ručně.

3.2.5 Zapouzďení cívky typu 1

Materiál, kterým je cívka zapouzďena je ultramid A3WG6. Ultramid A3WG6 je vhodný pro použití v elektrotechnickém a automobilním průmyslu. Má dobré izolační vlastnosti a vysokou tuhost. Materiál obsahuje 30 % skleněných vláken. Základní vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Základní parametry materiálu ultramid A3WG6 [11].

základní vlastnosti materiálu ultramid A3WG6, při teplotě 23 °C	
mez pevnosti	168 MPa
modul pružnosti	8,48 MPa
poměrné prodloužení	3 %
teplota tání	260 °C
doporučený vstřikovací tlak	3,5 MPa až 12,5 MPa

Před začátkem výroby překontroluje seřizovač stroj a sušicí zařízení. Sušicí zařízení musí být nastaveno na teplotu 100 °C až 120 °C. Doba sušení musí být minimálně 5 až 10 hodin. Seřizovač zvolí v řídicím systému stroje nastavení pro vyráběný typ cívky a nechá stroj zahřát na pracovní teplotu. Dále zkontroluje vstřikovací formu ve stroji, a pokud slouží pro výrobu jiného typu výrobku tak ji vymění.

Svařené kusy se před vložením do lisovací formy musí upravit v ručním přípravku, viz obrázek 3.12. Přípravek slouží k ohnutí kontaktů o takový úhel, aby byly po zapouzďení kompletně zality plastem.



Obr. 3.12 Přípravek pro ohýbání kontaktů.

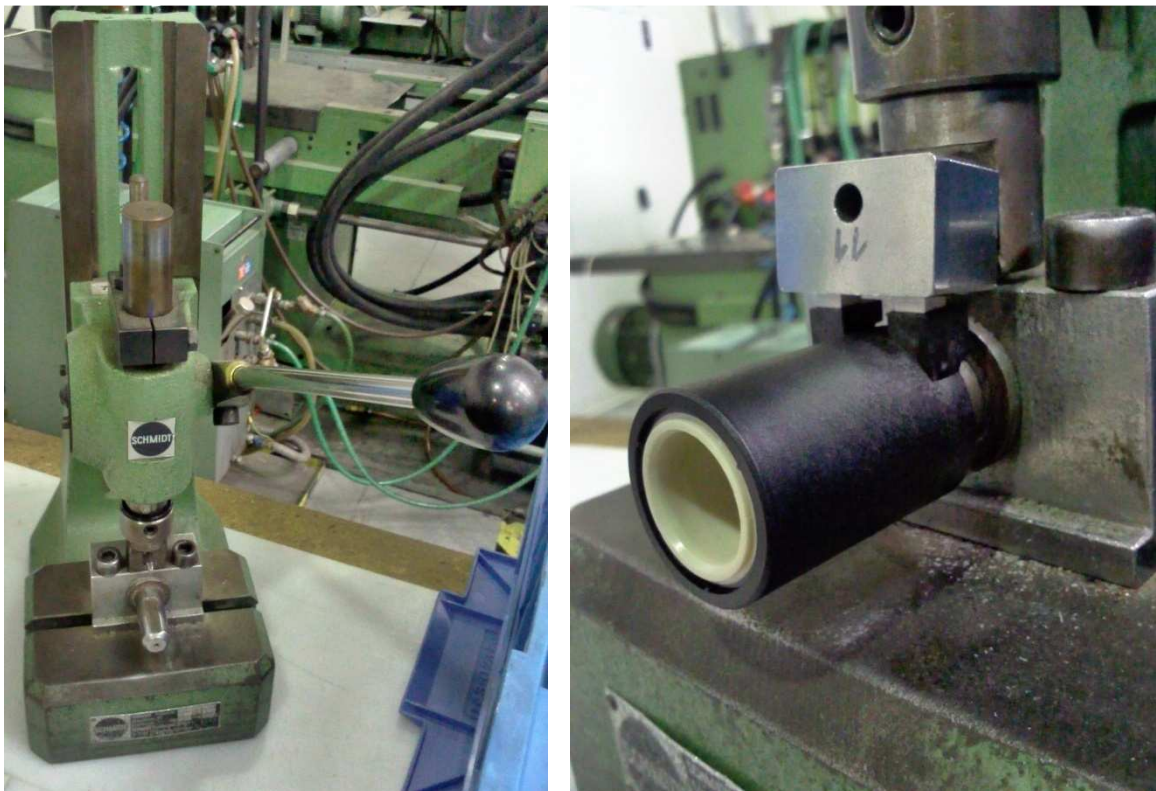
Operátor vloží cívky na trn přípravku a dotlačí je do výřezu na konci trnu, kde budou cívky zafixovány. Zatáhnutím páky na pravé straně přípravku dojde k ohybu kontaktů. Úhel ohybu je na přípravku přednastaven a může být změněn pootočením stavitelné matice. Na matici jsou narýsovány rysky, aby se mohla jednoduše vrátit do původní pozice. Operátor neprovádí změny nastavení úhlu ohybu kontaktů. Po vrácení páky do původní pozice lze cívky s ohnutými kontakty z přípravku vyjmout. Operátor tímto způsobem připraví 6 cívek. Když jsou cívky připraveny, vloží operátor do kontaktů ochrannou kostku (obrázek 3.13). Kostky jsou uloženy v plastové krabičce u stroje.



Obr. 3.13 Ochranná kostka.

Kostka je vyrobena z oceli a slouží k zabránění zalití kontaktu tekutým plastem. Tímto způsobem chráněné cívky jsou vloženy do formy. Forma pojme 6 kusů cívek. Za-

vřením bezpečnostního krytu stroje a zmáčknutím spouštěcího tlačítka začne vstřikovací cyklus. Stroj automaticky vstříkne plast do formy. Během vstřikování operátor ohýbá kontakty pro další vstřikovací cyklus. Po zatuhnutí plastu je vstřikovací zařízení odsunuto, vyhazovač povysune zapouzďené cívky z formy, aby se mohly ručně vyjmout. Operátor cívky vyjme z formy a pomocí přípravku na obrázku 3.14 vysune ochranné kostky z kontaktů.



Obr. 3.14 Vysouvání kostky.

Když jsou všechny kostky vyjmuty, operátor je opět vloží do předpřipravených cívek. Následuje další vstřikovací cyklus, během kterého je vizuálně kontrolováno všech 6 zapouzďených cívek. Neshodné kusy jsou vyřazeny a shodné jsou vloženy do bedny pro hotové výrobky. Po kontrole následuje opět ohýbání kontaktů atd.

Kusy prvního zdvihu musí schválit seřizovač. Pokud jsou první kusy v pořádku, výroba pokračuje tak jak bylo popsáno výše. Hotové kusy jsou ponechány v bednách ve skladovém prostoru u stroje k vychladnutí. Tyto bedny jsou ve skladovém prostoru ponechány 24 hodin. Po uplynutí této doby je bedna přenesena k poslední části procesu – výstupní kontrole.

3.2.6 Zapouzďení cívky typu 2

Odlišnosti v procesu zapouzďování jsou způsobené pouze konstrukční odlišností cívek typu 1 a 2. Při zapouzďování cívek typu 2 není potřeba ohýbat kontakty a používat ochranou kostku. Kostku zde nahrazuje sama vstřikovací forma.

Po vložení cívek do formy (opět 6 ks) a spuštění stroje zajede do kontaktů druhá část formy. Její tvar byl navržen s důrazem na zabránění zalití kontaktu.

3.2.7 Výstupní kontrola

Poslední operací na cívkách je jejich komplexní kontrola. Kontrola je prováděna na kontrolním stanovišti. Je složena z automatické a vizuální. Na cívkách se provádí kontrola hodnoty elektrického odporu, kontaktů a povrchu pouzdra cívky.

Před začátkem kontrolního procesu je pracovníkem kontroly zkontrolováno a připraveno kontrolní pracoviště (přípravek pro měření, kalibr, mikroskop, PC atd.).

Zapouzdřené cívky jsou po vychladnutí přeneseny do vyhrazeného prostoru u kontrolní stanice. Podle plánu kontroly jsou z tohoto prostoru doneseny bedny ke kontrole. Každá bedna obsahuje 200 ks cívek. Dle typu cívek a velikosti jejich elektrického odporu, je na PC vybráno příslušné nastavení vyhodnocovacího programu. Nastavení obsahuje informace o jmenovité hodnotě elektrického odporu a o povolených odchylkách od této hodnoty. V průběhu kontroly jsou do PC zaznamenávána data jako počet dobrých a špatných kusů, hmotnost cívek a fotografie kontaktů každé cívky.

Nejprve je prováděn elektrický test. Cívka je vložena pracovníkem do měřicího přípravku viz obrázek 3.15.

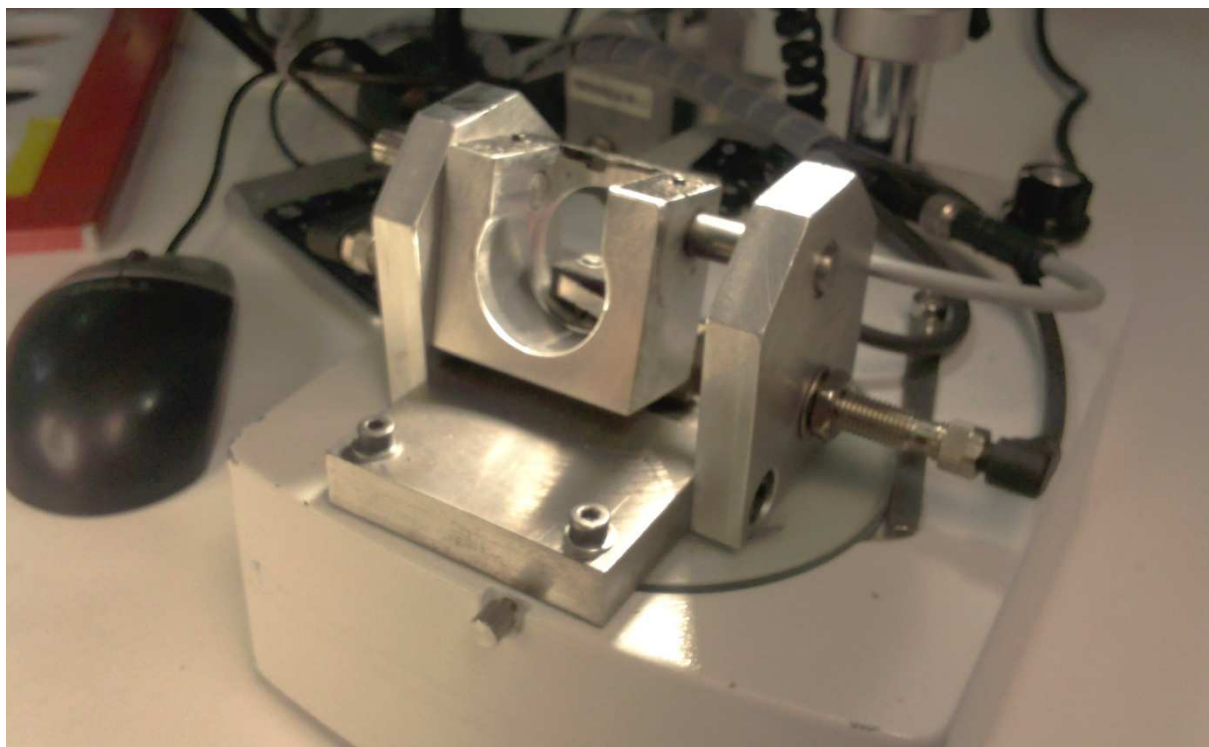


Obr. 3.15 Přípravek pro měření elektrického odporu (v průběhu měření).

Po vložení cívky do držáku je provedeno automatické měření elektrického odporu. V průběhu měření svítí bílé světlo. Zároveň s měřením probíhá také potisk cívky. Potisk obsahuje identifikační údaje a informace o cívce. Po vyhodnocení měření je kus buď automaticky vyřazen z další kontroly (rozsvítí se červené světlo a cívka propadne měřicím přípravkem do bedny pro neshodné kusy) nebo se rozsvítí zelené světlo.

Pokud svítí zelené světlo, pracovník vyjme kus z měřicího přípravku a provádí další kontrolní úkony.

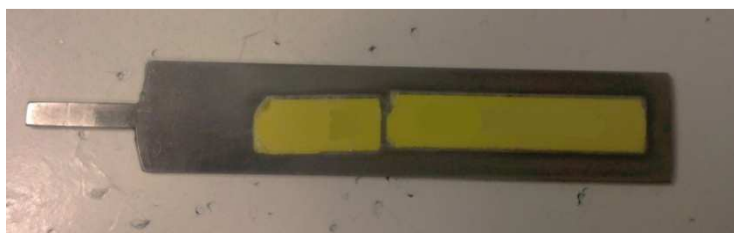
Další kontrolní činností je kontrola kontaktů. Tato kontrola se provádí vizuálně za pomoci mikroskopu. Pod mikroskopem je umístěn přípravek (viz obrázek 3.16), do kterého je kontrolovaná cívka vložena.



Obr. 3.16 Přípravek pro ustavení cívky pod mikroskopem.

Přípravek umožňuje přímočarý a rotační pohyb cívky pod mikroskopem a je ovládán ručně. Mikroskop je spojen s PC a kontakty jsou zobrazeny na obrazovce PC. Jakmile pracovník posune cívku v přípravku na doraz (doleva i doprava) jsou oba kontakty vyfoceny a uloženy ve výstupním souboru kontroly. Pokud pracovník pod mikroskopem objeví neakceptovatelnou vadu, například deformovaný kontakt vyjme cívku z přípravku a vhodí ji do příslušné odmítací tuby. Jestliže v kontaktech nebyla odhalena žádná neakceptovatelná vada, cívka pokračuje k další části kontroly.

Následuje vizuální kontrola povrchu pouzdra cívky. Tato kontrola je prováděna pod lupou. Pracovník prozkoumá celý povrch pouzdra, a jestliže odhalí nějakou povrchovou vadu, vyřadí cívku do příslušné odmítací tuby. Pokud je pouzdro cívky bez deformací nebo porušení, je přikročeno ke kontrole kontaktů pomocí kalibru (viz obrázek 3.17). Do každého kontaktu je vložen kalibr. Pokud kalibr kontaktem projde, cívka bude vyřazena.



Obr. 3.17 Kalibr pro kontrolu kontaktů.

Jestliže se kalibr zastaví o prolis v kontaktu, cívka je v pořádku. Takováto cívka je vložena do plata určeného pro dobré kusy. Po vložení cívky do plata je plato automaticky zváženo.

Po kontrole všech cívek jsou bedny s dobrými kusy připraveny k uložení do skladu a následně k expedici na kompletaci.

4. VYHODNOCENÍ FMECA ANALÝZY

Analýza FMECA provedená v této práci je v příloze 3. Jak bylo uvedeno již dříve, cílem analýzy je identifikovat všechny možné příčiny neshod při výrobě cívek a snížit jejich výskyt.

Hraniční hodnota RPN byla stanovena podle zvyklostí výrobního podniku, kde byla analýza prováděna. Pro závažné vady byla použita hranice RPN = 100 a velmi závažné vady RPN = 200. Kromě hodnot RPN byl u každé možné vady proveden rozbor velikosti jednotlivých hodnocení (závažnost, výskyt, odhalitelnost).

Navržená preventivní opatření nejsou tedy zaměřena pouze na možné neshody s RPN vyšším jak 100, ale i na ty, jejichž RPN tuto hranici nepřesahuje. Na základě vypracovaného formuláře FMECA, byla vypracována tabulka 4.1.

Tab. 4.1 Nejzávažnější vady a jejich příčiny v procesu výroby cívek.

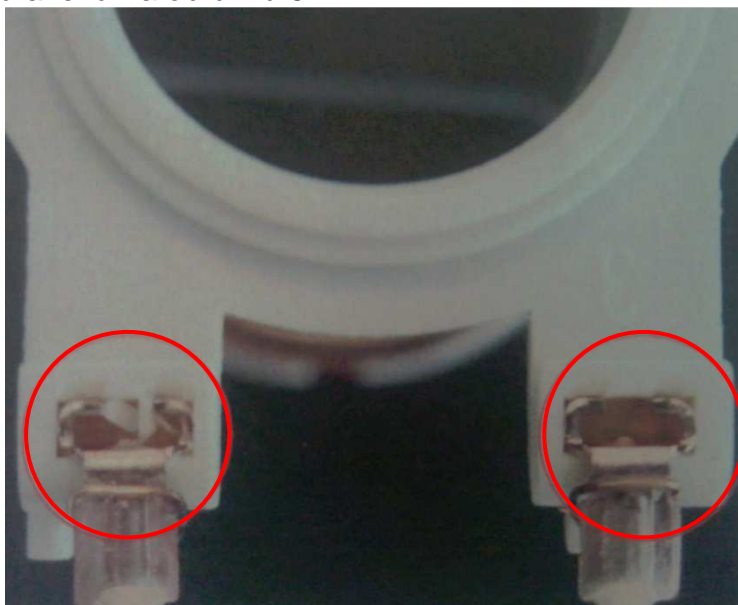
nejzávažnější neshody a jejich příčiny				
narážení kontaktů	navíjení drátu	svařování kontaktů	zapouzdření cívky	výstupní kontrola
-poškození drážky pro kontakt (v drážce vznikl otřep)	-volné vinutí	-nedovařené svary (drát není swarem pokryt z 2/3)	-úhel ohybu kontaktů není optimální (výhradně typ 1)	-tisková hlava špiní kontrolní přípravek a cívku
	-po odstřížení drátu mezi cívkou a konví je na cívce dlouhý zbytek drátu	-upálený drát	-kontakty jsou kostkou deformovány (výhradně typ 1)	
		-automatická kontrola po svaření není optimální	-vyčnívající drát v kontaktu	
			-vyčnívající drát zezadu kontaktu	
			-zalitý okraj nebo celý kontakt plastem	
			-vinutí prostupuje povrchem pouzdra	
			-pouzdro není dolito	
			-vyčnívající deformovaný drát u kontaktu	

5. NAVRŽENÍ PREVENTIVNÍCH OPATŘENÍ

Při návrhu preventivních opatření byl uplatněn procesně systémový přístup. Vada, která se vyskytne například při zapouzďování, může mít příčinu, která vznikla již při navíjení drátu. Proto byl celý proces důsledně rozebrán, aby byla nápravná opatření zaměřena na příčiny a ne na důsledky těchto příčin. Důraz byl také kladen na to, aby navržená opatření nezpůsobila možnost vzniku jiných možných příčin neshod.

5.1 Narážení kontaktů

Analýza ukázala, že při operaci narážení kontaktů je největším problémem z hlediska neshod vada zobrazená na obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Levý kontakt – neshoda, pravý kontakt – v pořádku.

Bylo zjištěno, že příčina vzniku těchto vad, tkví v přesnosti vstupních polotovarů. A to zejména ve vysokých tolerancích plastové špulky a bronzových kontaktů. Další rozbor ukázal, že největší vliv na vzniku těchto vad má přesnost kontaktu. Na základě těchto údajů je navrženo provést:

- **rozbor tolerancí soustavy špulka – kontakt,**
- **optimalizování tolerancí kontaktů, případně špulky.**

Tato výrobní vada se častěji vyskytuje u cívek typu 2, nicméně je doporučeno provést rozbor pro oba typy cívek.

5.2 Navíjení drátu

V operaci navíjení, bylo identifikováno několik možných neshod a možných příčin neshod. Jako nejvíce závažné byly určeny následující:

- po odstřižení drátu mezi kontaktem a konví zůstal na kontaktu dlouhý zbytek drátu,
- při navíjení vzniklo volné vinutí.

Dlouhý odstřížek může po zalití cívky plastem prostupovat povrchem pouzdra. Pro eliminaci dlouhého odstřížku je nyní zavedena vizuální kontrola. Pokud pracovník

uzná, že je odstřížek příliš dlouhý, zkrátí ho kleštěmi. Nyní je nutno zvážit dva scénáře. A to, že buď drát nebude operátorem zkrácen anebo, že bude odstříhnut nevhodně. Proto je navrženo:

- **optimalizovat NC program, aby se zabránilo vzniku dlouhých odstřížků a nutnosti je odstraňovat ručně.**

Pokud při navíjení cívky vznikne volné vinutí, je nebezpečí, že při zapouzdření této cívky bude vinutí tlakem plastu posunuto. Důsledek této situace může být, že vinutí bude prostupovat povrchem pouzdra (viz obr. 5.2)

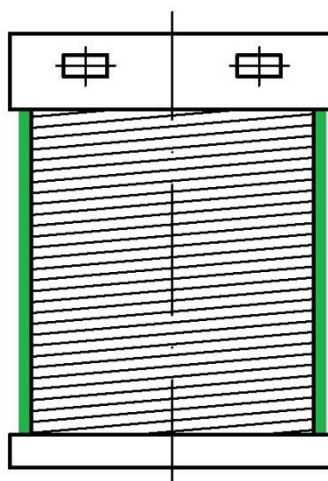


Obr. 5.2 Vinutí prostupující po zapouzdření povrchem pouzdra.

Aby se zamezilo vzniku těchto neshod při zapouzdřování je, doporučeno:

- **využití bandáží.**

Bandáž, která bude před zapouzdřením (po svaření a posunutí drátu) cívky vložena (viz obr. 5.3) bude jednak zabraňovat „rozstříknutí vinutí“ a dále bude vinutí chránit před přímým kontaktem s horkým tekutým plastem.



Obr. 5.3 Ochrana vinutí pomocí bandáže (zobrazena zeleně).

Všechny možné vady a příčiny vad zmíněné v této podkapitole se vyskytují u obou typů cívek. Proto je doporučeno implementovat navržená opatření do výrobního procesu obou typů cívek.

5.3 Svařování kontaktů

Svařování kontaktů je jedním ze dvou nejproblematictějších úseků při výrobě cívek. Počet neshodných výrobků, které zde vznikají, je ze všech operací největší. Příčinou vzniku těchto velký finančních ztrát je samotná technologie svařování.

Dosavadní metoda svařování – plamenem je značně nestabilní a nyní již překonaná. V průběhu svařování dochází k velkým teplotním výkyvům (o více než 200 °C) a proces je špatně regulovatelný. Dalším problémem jsou rozdílné teploty plamene pravého a levého hořáku. K zamezení vzniku velkého objemu je doporučeno:

➤ **zavedení nové technologie svařování.**

Z možných nových technologií byla vybrána technologie laserového svařování. Se společností Lintech s.r.o. byly domluveny zkoušky na vzorcích cívek. Společnost Lintech se specializuje na laserové technologie (svařování, řezání, gravírování) a průmyslové značení.

Na základě výsledku testování, bude rozhodnuto, zda je laserové svařování vhodné pro stávající materiál kontaktů a drátu. Pokud se navržená technologie ukáže jako nevhodná, je doporučeno otestovat technologii pulzního obloukového svařování.

Z analýzy výrobního procesu dále vyplynulo, že automatická kontrola po svaření není optimální (možnost vyřazení dobrého kusu, nemožnost odhalení kolísavého odporu cívky). Proto je tedy doporučeno:

➤ **použít měřicí modul, který dokáže spolehlivě identifikovat kus s odporem mimo toleranci a s kolísavým odporem.**

5.4 Zapouzdření cívek

Jelikož se proces zapouzdřování cívek liší, navržená opatření jsou rozdělena do podkapitol podle toho, zda se jedná o výrobu cívek 1 nebo 2.

5.4.1 Zapouzdření cívek typu 1

Proces zapouzdřování cívek typu 1 začíná ohybem kontaktů. Ohyb prováděný přípravkem (obr. 3.11) není optimální. Nevhodný úhel ohybu může být příčinou vzniku následujících neshod (viz obr. 5.4):

- vyčnívající drát zezadu kontaktu,
- vyčnívající drát v kontaktu.



Obr. 5.4 Vyčnívající drát zezadu kontaktu vlevo, vyčnívající drát v kontaktu vpravo.

Na vině je velikost svaru vzniklého při svařování. Část materiálu kontaktu při svařování plamenem je slit do kuličky, která spojí drát s kontaktem. Tvar i rozměr této kuličky (svaru) je pokaždé odlišný. V přípravku dochází ke styku svaru a ohybníku. Je

tudíž zřejmé, že úhel, o který je kontakt ohnut se pokaždé více či méně liší. Proto je navrženo:

➤ **provádět ohyb kontaktů ještě před vlastním svařením.**

V tuhle chvíli nelze opatření do výrobního procesu implementovat. Stávající svařovací automat není schopen svařování kontaktů, které jsou ohnuty. Jakmile bude vybrána nová technologie svařování, lze budoucí svařovací linku navrhnout tak, aby mohla svařovat cívky již s ohnutými kontakty.

Další možnost vzniku neshod je deformování bronzového kontaktu kostkou (viz obr. 5.5), která je do něj vložena. Deformace kontaktu (otlačení, poškrábání) může být způsobena:

- nevhodnou manipulací s kostkou a to jak při skladování tak při vkládání kostky do kontaktů,
- nepřesně vyrobeným kontaktem.

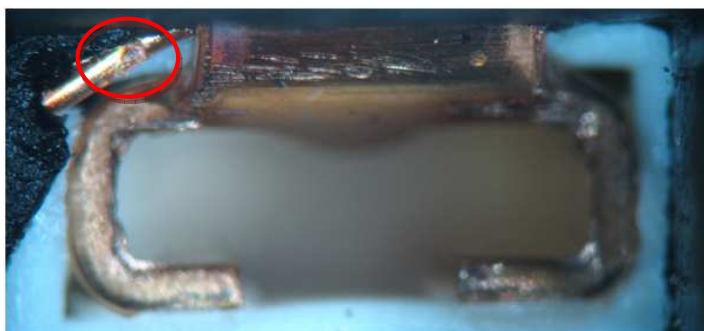


Obr. 5.5 Deformace kontaktu způsobené vkládáním kostky.

K zabránění vzniku těchto neshod je navrženo:

➤ **provést rozbor tolerancí soustavy kontakt – kostka a případně upravit tolerance kontaktu, aby nedocházelo ke škrábancům a deformacím.**

Kromě deformace kontaktu existuje ještě možnost deformace drátu, který je veden vedle kontaktu (obráz. 5.6).



Obr. 5.6 Vyčnívající deformovaný drát u kontaktu (označen červeně).

K zabránění možnosti vzniku deformací kontaktů a drátu je doporučeno:

➤ **změnit metodu skladování kostek.**

Stávající metoda skladování není optimální. Kostky, které byly dokončeny broušením, se mohou v úložné krabičce volně pohybovat. Vzniká tak nebezpečí deforma-

vání kostek vzájemnými srážkami. Je tedy vhodné buď skladovat každou kostku zvlášť anebo vytvořit ochranný obal, který zabrání pohybu kostek po jeho uzavření.

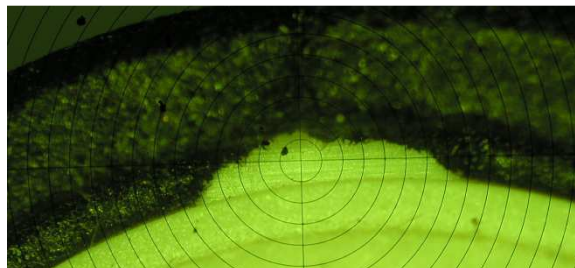
Další možné neshody mají původ v samotném procesu vstřikování plastu do formy. Jedná se o:

- zalitý okraj nebo celý kontakt plastem (obr. 5.7),



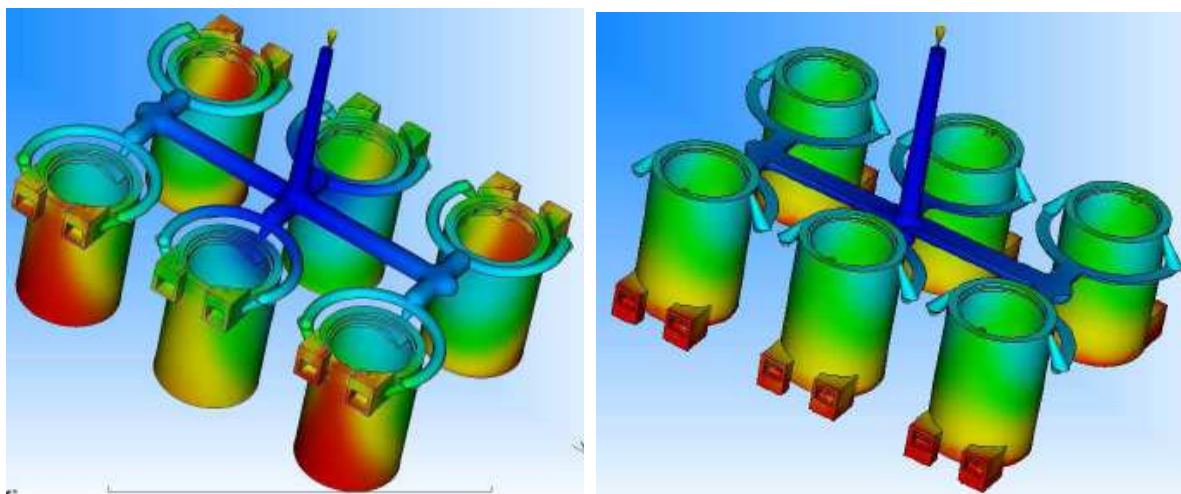
Obr. 5.7 Vlevo zalitý kontakt, vpravo zalitý okraj kontaktu.

- nedolití pouzdra cívky (obr. 5.8).



Obr. 5.8 Nedolití pouzdra.

Protože současná forma pro zapouzďování cívek typu 1 obsahuje trhliny, byl vypracován návrh nové formy. Nová forma bude mít lépe řešenou vtokovou soustavu (obr. 5.9). Dále bude odstraněna nutnost ručního vkládání kostky do kontaktů. Ochranná kostka bude nahrazena částí formy, která se automaticky zasune do kontaktů. Jedná se o stejný princip, který je použit u formy pro cívky typu 2.



Obr. 5.9 Původní vtoková soustava vlevo, nová vpravo.

Vhodnost nové vtokové soustavy a plnění formy bylo odzkoušeno v software Autodesk Moldflow. Nová vtoková soustava by měla eliminovat možnost vzniku nedolití

pouzdra. Automatické zasouvání kostky by mělo zabránit mechanickému poškození kontaktů a zabránit zalévání kontaktů plastem.

Nyní bude vyroben prototyp formy (s jednou dutinou) a pokud testování neodhalí nějaké problémy, bude vyrobena nová forma (6 dutin). Nová forma by měla být zavedena do výroby v příštím roce.

5.4.2 Zapouzdření cívek typu 2

Při zapouzdřování cívek typu 2 se nejčastěji vyskytují následující neshody (obr. 5.10):

- nedolítí pouzdra,
- zalití kontaktu.



Obr. 5.10 Nedolítí pouzdra vlevo, zalitý kontakt vpravo.

Výše zmíněné neshody mohou mít řadu příčin. Nedolítí pouzdra může být způsobeno:

- nevhodnými parametry procesu sušení granulí,
- nevhodnými parametry vstřikování (teplota, tlak, velikost vstřikované dávky),
- nevhodnou konstrukcí vstřikovací soustavy,
- teplotou formy a teplotou okolí,
- použitím málo vhodného vstřikovaného materiálu.

Zalití kontaktu může být způsobeno:

- nevhodnou konstrukcí vstřikovací soustavy,
- opotřebením ochranné části formy, která se zasouvá do kontaktů.

K omezení výskytu těchto neshod je doporučeno:

- **vytvořit model nové formy s přepracovanou vtokovou soustavou,**
- **provést simulaci plnění stávající a navržené formy,**
- **nechat vyrobiť formu s vhodnější vtokovou soustavou.**

Nová vtoková soustava by měla vycházet z koncepce, která byla použita pro vstřikovací formu pro cívky typu 1 (obr. 5.9). Kontakty by měly být zalévány jako poslední. Toto by mělo zabránit jejich namáhání vysokou teplotou a tlakem. Dále by tato změna měla zabránit nedolítí na opačné straně vtoku. Také by tato změna měla omezit možnost zalití kontaktu plastem.

5.5 Výstupní kontrola

Největším nedostatkem výstupní kontroly je nespolehlivost inkoustové průmyslové tiskárny. Stávající tiskárna způsobuje prostoje v kontrole a tisková hlava špiní kontrolní přípravek. Proto je doporučeno:

➤ **použití laserové popisovací tiskárny.**

Se společností Lintech bylo domluveno provedení několika testů laserové popisovací technologie. Na základě výsledků testů bude rozhodnuto o vhodnosti použití laserové popisovací technologie.

5.6 Technickoorganizační opatření

Z hlediska dokumentování a organizace procesu je doporučeno:

- **přepřerování katalogu neshod podle aktuálních kritérií kvality požadovaných zákazníkem,**

Revize by měla zajistit především: kvalitní obrazové záznamy akceptovatelných i neakceptovatelných vad, výstižný popis a jednoduchou orientaci v katalogu. Po přepracování katalogu neshod by mělo být provedeno:

- **seznámení pracovníků se všemi známými a možnými typy akceptovatelných a neakceptovatelných vad a jejich příčin,**

Seznámení pracovníků se všemi kritérii kvality, by mělo proběhnout formou meetingu (prezentace+diskuze). Všichni pracovníci by měli být seznámeni s průběhem celého procesu a možností vzniku vad a jejich příčin. Část prezentace by měla být věnována rozdílům mezi akceptovatelnými a neakceptovatelnými vadami.

Dále je doporučeno:

- **začít vést důkladnou a přehlednou evidenci všech neshod vzniklých v průběhu svařovacího procesu.**

Tato evidence by měla postihnout všechny typy cívek, které jsou v podniku vyráběny. Záznamy počtu neshod vzniklých při svařování současnou technologií budou využity pro určení doby návratnosti investice, pokud testy prokážou, že navržená technologie je vhodná.

ZÁVĚR

V první části práce byla teoreticky popsána metoda FMECA. Teoretická část je určena k seznámení čtenářů s touto analyticko-preventivní metodou. Tato část práce má také sloužit jako návod jak postupovat a čeho se vyvarovat při provádění vlastní analýzy.

V druhé části byly tyto teoretické poznatky použity k vypracování vlastní FMECA. Cílem analýzy bylo identifikovat všechny možné neshody a snížit jejich výskyt. Analýza byla provedena ve spolupráci s nejmenovaným brněnským podnikem.

V poslední části práce byla tato analýza vyhodnocena. Na základě těchto výsledků byla navržena opatření ke snížení počtu vyrobených neshodných výrobků.

Analýza FMECA ukázala, že největší počet neshodných kusů vzniká při svařování kontaktů. Dalším rozbořem bylo zjištěno, že příčina vzniku neshod tkví v nevhodné technologii svařování. Byla proto doporučena změna technologie svařování.

Z možných alternativních technologií byla vybrána technologie laserového svařování. Se společností Lintech s.r.o. byly domluveny testy laserového svařování. Od laserového svařování kontaktů se očekává razantní snížení počtu neshodných kusů a zlepšení řiditelnosti svařovacího procesu.

Firma Lintech rovněž provede testy laserového popisování pouzdra cívek. Průmyslová inkoustová tiskárna, která se nyní ve výrobním podniku používá není spolehlivá a způsobuje prostoje při kontrole.

Jako další velký zdroj neshodných výrobků se ukázal zapouzdřovací proces. K omezení výskytu neshod při zapouzdřování bylo navrženo několik opatření. Z navržených opatření je nutno zmínit změnu vtokové soustavy, která by měla podle simulací zajistit rovnoměrnější plnění vstřikovací formy a snížit výskyt závažných neshod.

Nápravná opatření, která byla navržena, nemohla být do termínu odevzdání práce implementována do výrobního procesu. Novou technologii svařování lze vzhledem k finanční náročnosti očekávat nejdříve v roce 2013.

Některým neshodám, které ve výrobním procesu cívek vznikají, může být zabráněno změnou konstrukce cívky. Jelikož se ale jedná o zakázkovou výrobu a cívky jsou v nezměněné podobě vyráběny již 20 let, nelze do konstrukce cívek zasahovat. Zakazník by na konstrukční změny nepřistoupil. Dalším problémem je blížící se konec životního cyklu výrobku.

Všechny cíle specifikované zadáním práce a výrobním podnikem byly splněny. Zda budou do analyzovaného procesu implementována všechna navržená opatření, již záleží na rozhodnutí způsobilých osob ve výrobním podniku.

Spolu s vypracovanou analýzou slouží tato práce, jako návod pro všechny kdo se chtějí seznámit s tímto efektivním nástrojem pro prevenci chyb.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Analýza možných způsobů a důsledků závad (FMEA)*. Česká společnost pro jakost, 2001. 72 s. ISBN 80-02-01476-6.
2. ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů - Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha: Český normalizační institut, leden 2007. 44 s. Třídící znak 01 0675.
3. Failure mode, effects, and criticality analysis. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-12-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode,_effects,_and_criticality_analysis
4. Failure mode and effects analysis. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2011-12-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode_and_effects_analysis
5. FRANKE, Wolf. *FMEA: Analýza možností vzniku vad a jejich následků*. 2. přepracované vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 1993. ISBN 80-02-00968-1.
6. JANEČEK, Zdeněk. *Jakost: potřeba moderního člověka*. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. ISBN 80-02-01687-4.
7. *Metoda FMEA* [online]. [cit. 2012-01-05]. Dostupné z: <http://www.komorkhk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/12-neustale-zlepsovani/12-2-fmea.pdf>
8. NENADÁL, Jaroslav, Darja NOSKIEVIČOVÁ, Růžena PETŘÍKOVÁ, Jiří PLURA a Josef TOŠENOVSKÝ. *Moderní systémy řízení jakosti: quality management*. Praha: management press, 1998. 283 s. ISBN 80-85943-63-8.
9. PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001, ISBN 80-7226-543-1.
10. *Průmyslové značení výrobků a dílu, automatizace Lintech: Laserové technologie a průmyslové značení* [online]. © 2009-2011 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: <http://www.lintech.cz/>
11. Ultramid® A3WG6 Polyamide 66. *BASF Corporation Plastics Portal* [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=astm¶m=Ultramid+A3WG6>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ČSN	[-]	česká technická norma
FMEA	[-]	analýza způsobů a důsledků poruch
FMECA	[-]	analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch
NASA	[-]	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NC	[-]	číslicové řízení
PC	[-]	osobní počítač
PS	[-]	prvek systému
RPN	[-]	číslo priority rizika

Symbol	Jednotka	Popis
Ø	[mm]	geometrický průměr

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Formulář FMEA návrhu [1]
Příloha 2 Formulář FMEA procesu [1]
Příloha 3 Analýza procesu výroby cívek

PŘÍLOHA 1

ANALÝZA MOŽNÝCH ZÁVAD A JEJICH NÁSLEDKŮ (FMEA NÁVRHU)

FMEA číslo _____

Str.: _____ z _____

system

podsystem

součást

Zpracoval:

Datum zprac. (orig) _____ (rev.) _____

Datum zprac. (orig) _____ (rev.) _____

Řešitelský tým

PŘÍLOHA 3

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 1 z 27					
Část procesu: narážení kontaktů		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháček					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vizuálně zkontrolovat lis a hodnotu tlaku na manometru, pokud není tlak v rozmezí 0,4 až 0,7 MPa nastavit jej,	-neprovedena kontrola tlaku lisu a tlak není v rozmezí 0,4 až 0,7 MPa,	-testy prokázaly, že nedodržení tlaku nemá na výrobu vliv,	1	-opomenutí kontroly operátorem, -operátor nastavil hodnotu tlaku, která není v toleranci, -pokažený manometr,	1	-na vývěsce u stroje je soupis pracovních úkonů včetně vizualizace těchto úkonů, -pravidelná kalibrace manometru,	6	6							
-zkontrolovat přípravek (nástroj) a pokud slouží k výrobě jiného typu výrobku vyměnit jej za správný,	-přípravek nebyl zkontrolován a slouží k výrobě jiného typu výrobku, -ke stroji byl upevněn nevhodný přípravek,	-poškození špulky (vyřazení kusu z procesu),	8	-opomenutí kontroly operátorem,	1	-kontrola pracoviště mistrem, -vizualizace přípravku na vývěsce u stroje, -kontrola funkce přípravku na min. 3 kusech, -schválení prvních kusů mistrem,	6	48							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘÍČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 2 z 27				
Část procesu: narážení kontaktů			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vzít špulku z krabice a provést vizuální kontrolu,	- neprovedena vizuální kontrola špulky na přítomnost otřepů a celistvosti (nedolitá špulka),	-poškození izolace drátu o otřepený konec špulky, -přetržení drátu, -netěsnost cívky po zapouzdrění, špulka),	8	-opomenutí kontroly operátorem, -nepozornost operátora,	1	-vizualizace nesprávného povrchu špulky (otřepy) na vývěsce u stroje, -100% vizuální kontrola,	6	48							
-nasunout špulku na trn nástroje,	-nesprávně vložená špulka na trn,	-zničení špulky a kontaktů,	8	-nepozornost operátora,	1	-dorazy v přípravku pro jednoznačné ustavení, -vizualizace správně vložené špulky na vývěsce u stroje,	1	8							
-vzít kontakty ze zásobníku,	-operátor vzal kontakty z nesprávného zásobníku,	-vyrobení neopravitelného neshodného kusu,	8	-nepozornost operátora, -mistr špatně rozlišil zásobníky,	1	-barevné a textové rozlišení zásobníků (STOP , BER), -nástroj zabraňuje vložení nesprávných kontaktů,	1	8							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 3 z 27				
Část procesu: narážení kontaktů			Model: typ 1 a typ 2		Odpovědnost za proces:		Zpracoval: Miroslav Macháč								
Rok: 2012															
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-provést vizuální kontrolu kontaktů,	-vizuální kontrola není operátorem provedena,	-vyrobení neshodného výrobku (neopravitelný kus),	8	-v zásobníku byl poškozený kontakt, -v zásobníku byl nesprávný kontakt,	1	-100% vizuální kontrola kontaktů, -vizualizace správného tvaru kontaktů na vývěsce u stroje,	6	48							
-založit kontakty do nástroje,	-kontakty jsou do nástroje vloženy nesprávně (obráceně),	-vyrobení neopravitelného neshodného kusu, -zničení kontaktů a špulky,	8	-operátor vloží kontakty do nástroje nesprávně,	1	-tvar drážky pro vložení kontaktů z části zabraňuje nesprávnému vložení, -vizualizace správného vložení kontaktů do nástroje na vývěsce u stroje,	2	16							
-zasunout trn se špulkou na doraz, lis automaticky zalisuje (narazí) kontakty do otvorů ve špulce,	-po narážení kontaktů je patrná rozdílná výška kontaktů,	-nesprávné obmotání kontaktů drátem, -nemožnost správně provést svaření kontaktu a drátu,	8	-nevhodná konstrukce lisovacího nástroje, -nesprávně nastavená poloha razníků,	2	-100% vizuální kontrola, -pravidelná kalibrace polohy razníků lisovacího nástroje,	6	96							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)										FMECA číslo:			
												Str.: 4 z 27			
Část procesu: narážení kontaktů		Model: typ 1 a typ 2			Odpovědnost za proces:			Zpracoval: Miroslav Macháček							
		Rok: 2012													
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-zasunout trn se špulkou na doraz, lis automaticky zalisuje (naráží) kontakty do otvorů ve špulce,	-poškození špulky narážením kontaktů (otřep uvnitř drážky pro kontakty),	-pokud není vada odhalena po narážení a ani před navíjením bude zbytečně prováděno navíjení drátu,	8	-rozměr lisované části kontaktu je příliš velký (chyba dodavatele kontaktů), -drážka ve špulce je příliš úzká,	3	-100% kontrola špulky po narážení kontaktů, -na vývěsce u stroje je popsáno na co se má operátor při kontrole zaměřit,	6	144	-analýza tolerance špulky a kontaktů a optimalizace přesnosti špulky a kontaktů,			8	2	6	96

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 5 z 27				
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012			Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-zapnut stroj a vybrat NC program,	-není zvolen správný NC program,	-poškození stroje, -zhotovení neshodných výrobků, -přetržení drátu,	9	-seřizovač zvolil nesprávný NC program,	1	-výběr se provádí podle pracovního postupu, kde je uveden který NC program použít pro příslušný typ cívky,	5	45							
-zkontrolovat parametry v NC programu,	-nejsou zkontrolovány parametry procesu, nebo jsou chybně nastaveny,	-nesprávný počet namotaných závitů, -přetržení drátu, -drát je navínut mimo navíjecí komoru špulky,	8	-seřizovač nezkontroloval parametry procesu, -seřizovač špatně zadal parametry procesu,	1	-správné parametry procesu jsou uvedeny v pracovním postupu, -na vývěsce u stroje soupis činností, které má seřizovač provést,	5	40							
-vyskladnit konev s drátem ze skladu, zkontrolovat štítek na konvi a umístit konev do vyhrazeného prostoru	-operátor přinesl ze skladu konev s nesprávným Ø drátu,	-elektrický odpor cívky mimo povolenou toleranci, -nesprávný Ø návinu, -přetržení drátu při navíjení,	8	-nepozornost operátora způsobila vyskladnění špatné konve s drátem,	1	-Ø drátu je specifikován v prac. postupu, -na konvi je štítek, který uvádí parametry drátu, štítek je nalepen přímo dodavatelem konve,	6	48							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 6 z 27						
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:								Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):							Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:																	
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření						
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN		
-demontovat navíjecí trny z předchozí výroby a namontovat trny pro požadovaný typ cívky,	-do stroje jsou namontovány nesprávné navíjecí trny,	-špulka nejde na trn nasadit, -špulka není na trnu zafixována (protáčí se), -aretující mechanismus nedrží špulku ve správné poloze,	8	-seřizovač nevyměnil navíjecí trny, nebo do stroje upevnil trny nevhodné,	1	-pracovní postup uvádí označení trnu, který se používá pro výrobu požadovaného typu cívky, -na vývěsce vedle stroje je soupis požadovaných akcí před zahájením výroby,	2	16									
-dle Ø drátu v konvi nastavit odpor brzd,	-odpor brzdy neodpovídá Ø drátu v konvi,	-drát je příliš napnutý a přetrhne se nebo vznikne utažené vinutí (deformace špulky), -drát je příliš volný a vznikne volné vinutí,	8	-seřizovač nastavil nesprávnou hodnotu odporu brzd,	2	-doporučená hodnota odporu brzd je uvedena v postraní tabulce na brzdě, v programu nebo v tabulce od výrobce drátu, -tah drátu je kontrolován a korigován v průběhu výroby prvních kusů,	5	80									

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘÍČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)										FMECA číslo: Str.: 7 z 27				
Část procesu: navíjení drátu		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:							Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):							Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:																
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření					
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN	
-vyrobit rozjezdové kusy (s nižší rychlostí navíjení a krokováním NC programu) a kontrolovat tah drátu a případně korigovat odpor brzd,	-není provedeno správné nastavení NC programu pro první kusy, -není provedena korekce odporu brzd, -odpor brzdy je špatně korigován,	-v případě opomenutí nebo špatným nastavení odporu brzd hrozí utržení drátu nebo výroba volných vinutí, -navinutí drátu mimo válcovou část špulky,	9	-seřizovač nesprávně nastavil odpor brzd, -zařízení pro měření tahu drátu neměří správně, -neověřeny pojezdy stroje pomocí krokování,	2	-pravidelná kalibrace měřidla pro měření tahu drátu, -soutpis úkolů pro výrobu rozjezdových kusů je vyvěšen na vývěsce u stroje,	5	90								
-nastavení původní (výrobní) rychlosti navíjení a vypnutí krokování v NC programu pro navíjení,	-rychlost navíjení drátu je příliš pomalá (10 % z původní), -stoj vyžaduje před každou akcí potvrzení od operátora,	-výrazné navýšení času potřebného na navití drátu na špulku, -časové ztráty způsobené krokováním NC programu,	3	-seřizovač opomenul nastavit NC program pro kontinuální výrobu,	1	-soutpis úkolů pro výrobu rozjezdových kusů je vyvěšen na vývěsce u stroje, -nízká rychlost navíjení je pro zaškoleného operátora patrná na první pohled,	2	6								

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘÍČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 8 z 27				
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-provést komplexní kontrolu rozjezdových kusů a v případě neshod informovat technologa (v případě shodných kusů následuje kontinuální výroba),	-proces navíjení není odladen a vznikají neshodné výrobky a časové ztráty,	-výroba neshodných kusů, pokud kusy nebudou zachyceny kontrolou po navíjení, hrozí časové a finanční ztráty na dalších operacích,	8	-seřizovač opomenul kontrolu rozjezdových kusů, -seřizovač špatně vyhodnotil rozjezdové kusy a povolil kontinuální výrobu cívek,	2	-po navinutí drátu na špulku provádí seřizovač stroje 100% vizuální kontrolu, kontrolu pomocí kalibrů a kontrolu elektrického odporu cívky,	5	80							
-vzít špulku s naraženými kontakty z bedny a kontrolovat správnost naražených kontaktů z předchozí operace,	-na špulce s deformovanými kontakty nebo jinými vadami (neshodný výrobek) je prováděna další technologická operace,	-na již neshodném výrobku je prováděna další technologická operace a vznikají zbytečné náklady,	8	-opomenutá nebo nesprávně vyhodnocená kontrola operátorem,	2	-100% kontrola kusů přicházejících z předchozí operace, -vyškolení operátora v rozeznávání možných vad z předchozí operace a vad vstupních polotovarů,	6	96							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 9 z 27				
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit špulku s naraženými kontakty na trn ve stroji a uzavřít bezpečnostní kryt stroje, po jeho uzavření začne stroj navíjet (v automatickém cyklu) drát na špulky s kontakty,	-při navíjení došlo k přetržení drátu,	-pokud dojde při navíjení cívky k přetržení drátu, jedná se o neshodný kus, který je nutno vyřadit z procesu výroby,	8	-velká síla brzdy mohla způsobit, že v drátu vznikl příliš velký tah, -na některé části drátu se mohla vyskytnout materiálová vada,	3	-nastavení a kontrola tahu v drátu na začátku výroby, -po dokončení automatického cyklu navíjení lze vadu odhalit podle výrazně malého počtu závitů nebo po kontrole obmotání kontaktů,	2	48							
	-v průběhu navíjecího cyklu došel drát v konvi,	-cívka nemá dostatečný počet závitů a musí se vyřadit z procesu výroby,	8	-v průběhu navíjení drátu na špulku došel v konvi drát,	4	-konec drátu v konvi nelze odhadnout, -odhalení je vizuální,	2	64							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 10 z 27				
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháček					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-uzavřít bezpečnostní kryt stroje, po jeho uzavření začne stroj navíjet (v automatickém cyklu) drát na špulky s kontakty,	-drát je navíjen mimo navíjecí část špulky,	-byl vyroben neshodný výrobek, který je nutno z procesu vyřadit,	8	-špulka, která byla vložena na trn, nebyla zafixována ve správné poloze,	2	-správné nasunutí špulky na trn je popsáno v prac. postupu a uvedeno na vývěsce u stroje,	2	16							
	-drát je navinut mimo vstupní nebo výstupní drážku (přesahuje rozměry špulky),	-při zapouzdření hrozí, že drát bude vyčnívat z povrchu pouzdra,	8	-špulka má příliš velké rozměrové tolerance, špatně nastavený pohyb v NC programu,	2	-kontrola parametrů NC programu na začátku výroby, -po navíjení se provádí 100% kontrola cívek,	6	96							
-po otevření bezpečnostního krytu stroje zkontrolovat, jestli jsou na cívkách nějaké vady,	-po navinutí drátu má vzniklé vinutí nevhodný (kuželový) tvar,	-největší Ø kuželového vinutí může způsobit, po zapouzdření cívky bude vinutí prostupovat povrchem pouzdra,	8	-nepřesné rozměry špulky mohou způsobit, že špulka nebyla zafixována ve správné poloze,	2	-operátor provádí 100% vizuální kontrolu, špatné tvary vinutí jsou zobrazeny na vývěsce u stroje,	6	96							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 11 z 27					
Část procesu: navíjení drátu		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháček					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-po ukončení cyklu navíjení otevři bezpečnostní kryt a zkontroluj, jestli jsou na cívkách nějaké vady,	-vnější Ø návinu nejde po navinutí drátu do kalibru,	-pokud by takto zhotovené kusy postupovaly procesem, způsobily by neshodné kusy při zapouzdřování (viditelné vinutí na okraji cívky),	8	-ke stroji je přidělována konev s drátem o příliš velkém Ø, -vinutí je navinuto nerovnoměrně (závit se kříží),	2	-před začátkem výroby kontrolován Ø drátu v konvi, -pro odhalení špatného rozměru se používá k tomuto účelu zhotovený kalibr,	6	96							
	-po navinutí drátu nejde vnitřní Ø špulky na kalibr,	-tyto cívky nemusí jít lehce vložit do vstřikovací formy při zapouzdření,	6	-navinutý drát zdeformoval špulku, -dodavatel dodal špulku, která má příliš malý vnitřní Ø,	2	-po navinutí drátu je provedena 100% kontrola pomocí kalibru,	6	72							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 12 z 27				
Část procesu: navíjení drátu			Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-po otevření bezpečnostního krytu stroje zkontrolovat, jestli jsou na cívkách nějaké vady,	-po odstřižení drátu strojem zůstávají na kontaktech příliš dlouhé zbytky drátu,	-příliš dlouhý drát trčící z kontaktů by mohl způsobit, že po zapouzdření cívky by tento drát mohl vyčnívat z pouzdra nebo trčet uvnitř kontaktu (neakceptovatelná vada),	8	-velikosti pojezdů NC programu při odstřihování drátu nejsou optimalizovány,	3	-odhalení příliš dlouhých drátů na kontaktech se provádí vizuálně, -pokud operátor takovou vadu odhalí, ucvakne trčící drát kleštěmi,	6	144	-optimalizace pojezdu nůžek navíjecího stroje v NC programu,			8	1	6	48
	-po navinutí drátu je vzniklé vinutí volné a jde s drátem ručně pohybovat,	-v operaci zapouzdřování může volné vinutí způsobit utržení drátu nebo vyčnívající drát na povrchu pouzdra,	8	-malá síla brzdy může způsobit, že tah v navíjeném drátu je příliš malý,	4	-kontrola a nastavení empiricky ověřené hodnoty síly brzdy se provádí před začátkem výroby, -po navíjení se provádí 100% kontrola cívek,	6	192	-použití bandáže před operací zapouzdření,			8	1	6	48

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 13 z 27					
Část procesu: svařování kontaktů		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháček					
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-zapnout a zkontrolovat stroj, dle pracovního postupu zvolit NC program,	-pozice trysek neodpovídá, pojezdy v jednotlivých osách jsou nesprávné,	-nesprávné parametry NC programu (vzdálenost trysek, parametry kontroly,...) způsobí výrobu výrobků, které je nutno vyřadit,	9	-seřizovač zvolil z NC programu pro jiný typ výrobku,	1	-program je vybrán podle pracovního postupu, kde je uveden jeho název, -nevhodně zvolený program lze odhalit vizuální kontrolou procesu,	5	45							
-zkontrolovat zda jsou ve stoju vloženy přípravky pro daný typ výrobku, případně je vyměnit,	-cívky do stroje nejdou vložit nebo jsou ve stroji špatně orientované, -měřicí zařízení neodpovídá typu výrobku,	-dochází k výrobě neshodných kusů, -vložení cívek do stroje není možné,	8	-seřizovač opomenul vyměnit nebo zkontrolovat přípravky v pracovním prostoru stroje,	1	-soupis předvýrobních úkonů je uveden na vývěsce u stroje, -nevhodný přípravek lze odhalit při vkládání cívek do stroje,	5	40							
-zkontrolovat náplň v reaktoru, případně náplň doplnit,	-v průběhu výroby přestane plamen hořet,	-finanční ztráty (zpoždění výroby),	3	-seřizovač opomenul kontrolu nebo doplnění náplně,	1	-vizualizace nedostatečné náplně v reaktoru,	5	45							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 14 z 27					
Část procesu: svařování kontaktů		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháček						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit cívku do stroje a nechat ji projít všemi operacemi (výroba testovacího kusu), takto vyrobenou cívku nechat zkontrolovat seřizovači nebo technikovi kvality a případně neshod upravit parametry procesu,	-výrobní proces vykazuje velký počet neshodných kusů,	-proces svařování kontaktů probíhá bez vyladění všech parametrů a produkuje neshodné výrobky, které bude nutno vyřadit z dalšího zpracování,	8	-operátor nenechal schválit testovací kusy a vyrobené kusy jsou neshodné, -seřizovač nebo technik kvality špatně vyhodnotil testovací kusy,	1	-vizualizace možných vad na vývěsce u stroje, -pro lepší posouzení svařených kontaktů cívky je ke stroji připevněna lupa, -po svaření je prováděna 100% vizuální kontrola svařených kontaktů,	5	40							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 15 z 27					
Část procesu: svařování kontaktů		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vzít navinutou cívku z bedny a vložit ji na trn kontakty nahoru a k sobě (následuje automatické svaření a kontrola elektrického odporu cívky),	-v průběhu svařování kontaktů došlo k natavení špulky,	-natavení plastového profilu je neakceptovatelná vada, takový kus je nutno vyřadit z dalšího procesu,	8	- neoptimalizované parametry při svařování (velikost a teplota plamene, vzdálenost trysky od kontaktů),	2	-před začátkem sériové výroby seřizovač zkontroluje první kusy a případně zkontroluje parametry NC programu, -pokud se vyskytne v procesu natavená špulka, operátor musí volat seřizovače,	6	96							
	-stroj produkuje nedovařené svary,	-cívka s nedovařeným svarem se nechá znovu projít procesem svařování, a pokud se svar nedovaří, cívka se musí z procesu vyřadit,	8	- neoptimalizované parametry při svařování (velikost a teplota plamene, vzdálenost trysky od kontaktů),	3	-před začátkem sériové výroby seřizovač zkontroluje první kusy a případně zkontroluje parametry NC programu,	6	144	-použití nové technologie svařování (LASER),			8	1	6	48

Proces: výroba cívek				ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)							FMECA číslo: Str.: 16 z 27				
Část procesu: svařování kontaktů				Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):							Datum zpracování (rev.):				
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vzít navinutou cívku z bedny a vložit ji na trn kontakty nahoru a k sobě (následuje automatické svaření a kontrola elektrického odporu cívky),	-upálený drát po svařování,	-vznikl elektrický vadný kus, který se musí vyřadit,	8	- neoptimalizované parametry svařování (velikost a teplota plamene, vzdálenost trysek od kontaktů),	8	-před začátkem sériové výroby seřizovač zkontroluje první kusy a případně zkoriguje parametry NC programu, -vadný kus je odhalen automatickou kontrolou po svaření,	2	128	-použití nové technologie svařování (LASER),			8	1	6	48
	-elektrický odpor cívky po svaření není v povolené toleranci,	-pokud se taková cívka dostane k další operaci, vznikají finanční ztráty,	8	-nesprávný Ø drátu nebo nesprávný počet závitů, -materiálová vada drátu,	3	-kus s elektrickým odporem mimo toleranci je odhalen automatickou kontrolou po svaření,	2	48							
	-automatická kontrola produkuje velký počet neshodných kusů,	-kus, který byl strojem vyřazen jako neshodný je v pořádku a musí se přezkoušet ručně,	7	-řídící systém nemá dostatek času na vyhodnocení automatické kontroly,	3	-kusy, které jsou strojem vyřazený, jsou ze zásobníku neshodných kusů vyjmuty a přezkontrolovány ručně,	5	105	-použití spolehlivějšího měřícího modulu, který je navíc schopen odhalit kolísavý el. odpor cívky,			7	1	5	35

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 17 z 27					
Část procesu: posouvání drátku		Model: pouze typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vzít přípravek a upravit polohu drátku podle pracovního postupu,	-drát je při posouvání přípravkem deformován nebo přetržen,	-neshodný kus, který je nutno vyřadit,	8	-nevhodný přípravek, -chyba pracovníka,	2	-pracovník provádí po dokončení posunutí 100% vizuální kontrolu celistvosti drátu,	6	96							
	-drát je pracovníkem posunut příliš moc nebo příliš málo,	-vyčnívající drát v kontaktu po zapouzštění,	8	-chyba pracovníka,	2	-pracovní instrukce popisuje polohu, kam má být drát posunut, -vizualizace správně posunutého drátu na vývěsce u pracoviště,	6	96							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 18 z 27				
Část procesu: zapouzdření cívky			Model: typ 1 a typ 2		Odpovědnost za proces:		Zpracoval: Miroslav Macháč								
Rok: 2012															
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-spustit stroj a po jeho zahřátí zkontrolovat vstřikovací parametry stroje,	-stroj produkuje velký počet neshodných výrobků,	-finanční ztráty z neshodných kusů,	8	-seřizovač opomenul kontrolu nebo korekci vstřikovacích parametrů,	1	-správné parametry vstřikování a soupis úkolů, které mají být provedeny, jsou uvedeny v pracovním postupu,	5	40							
-zkontrolovat sušičku a parametry sušení,	-na výrobných kusech je velký počet povrchových vad,	-vyřazení výrobků, protože jakákoli povrchová vada pouzdra je neakceptovatelná,	8	-seřizovač opomenul kontrolu sušicích parametrů,	2	-správné parametry sušení a soupis úkolů, které mají být provedeny, jsou uvedeny v pracovním postupu,	5	80							
-zkontrolovat vstřikovací formu ve stroji,	-cívky nejdou vložit do formy nebo jsou ve vstřikovací formě špatně ustaveny,	-pokud je ve stroji vložena forma pro jiný typ výrobku, hrozí vyrobení neshodných kusů případně poškození samotné lisovací formy,	9	-seřizovač opomenul kontrolu vstřikovací formy, případně vložil do stroje formu pro jiný typ výrobku,	1	-správný typ formy je uveden v pracovním postupu spolu s úkoly, které musí seřizovač provést, -tyto úkony jsou také popsány na vývěsce u stroje,	5	45							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘÍČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 19 z 27					
Část procesu: zapouzdření cívky		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-před začátkem výroby prvních kusů minimálně 3× našnekuj a vyšnekuj na papírovou podložku,	-první kusy mohou obsahovat povrchové vady,	-vyřazení výrobků, protože jakákoli povrchová vada pouzdra je neakceptovatelná,	8	-operátor opomenul minimálně 3× našnekovat a vyšnekovat na prázdno,	2	-na vývěsce u stroje jsou roze-psány všechny úkoly, které musí být provedeny před začátkem výroby,	6	96							

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 20 z 27				
Část procesu: zapouzdření cívky			Model: pouze typ 1 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč					
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-ohnout kontakty v přípravku,	-kontakty jsou ohnuty příliš nebo málo,	-po zapouzdření vykukuje kontakt z pouzdra (neakceptovatelná vada),	8	-nevhodně seřazený ohýbací přípravek,	4	-po odzkoušení přípravku na něm byly zhotoveny rysy, aby se mohl v případě potřeby seřadit,	6	192	-po zavedení nové technologie svařování, provádět ohýbání kontaktů před samotným svařováním,			8	2	6	96
-vložit kostku do kontaktů,	-kostka nejde do kontaktů lehce zasunout,	-kontakt je kostkou zdeformován, -drát v rohu kontaktu je kostkou zdeformován (neakceptovatelné vady),	8	-nevhodný tvar kostky, -poškozená kostka, -špatně vyrobený kontakt,	3	-pracovník výstupní kontroly namátkově kontroluje zapouzdřené kusy, -pokud se zjistí, že některá kostka deformuje kontakty, zastaví se výroba a tato kostka je přebroušena nebo vyřazena z procesu,	6	144	-zpřesnění rozměrů kontaktu, -změna metody skladování kostek, -automatické vkládání kostky,			8	1	6	48

Proces: výroba cívek			ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘIČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 21 z 27				
Část procesu: zapouzdření cívky			Model: typ 1 a typ 2		Odpovědnost za proces:		Zpracoval: Miroslav Macháč								
Rok: 2012															
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit cívku do formy ve stroji a spustit stroj v automatickém cyklu,	-cívka má po zapouzdření zalitý okraj kontaktu nebo celý kontakt,	-zalitý okraj kontaktu nebo celý kontakt je neakceptovatelnou vadou, takováto cívka se musí vyřadit,	8	-kostka byla do kontaktů špatně vložena, -nevhodně řešená vtoková soustava (tekutý plast vytlačí kostku z kontaktů),	6	-aby se zabránilo zalití kontaktu, používá se ocelových kostek, které jsou do kontaktu vloženy a při vstřikování obtečeny plastem,	6	288	-změna vtokové soustavy,			8	2	6	96
	-po zapouzdření je na obvodu pouzdra viditelné vinutí,	-viditelné vinutí po zapouzdření je neakceptovatelnou vadou, takováto cívka se musí vyřadit,	8	-při navíjení vzniklo volné vinutí, které se vyboulilo, -vinutí přesahuje Ø špulky,	8	-po navíjení se na cívce kontroluje volnost, tvar a Ø návinu, -vada je odhalena buď po zapouzdření, nebo finální kontrolou,	6	384	-použití bandáže vinutí před zapouzdřením,			8	1	6	48

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)										FMECA číslo: Str.: 22 z 27						
Část procesu: zapouzdření cívky		Model: pouze typ 1 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:										Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):							Datum zpracování (rev.):							
Řešitelský tým:																		
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření							
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN			
-vložit cívku s kostkou do formy ve stroji a spus- tit stroj v automatickém cyklu,	-vyčnívající drát u kon- taktu, tento drát může být i zdefor- mován,	-pokud je vy- čnívající drát deformován kostkou jedná se o neakcep- tovatelnou vadu, když drát deforma- ván není vada je akceptova- telná,	8	-roh kontak- tu nebyl dolit, -malý lisovací tlak mohl způsobit, že drátek u kontaktu nebyl zalit plastem,	4	-na kostce je vy- broušena ploška, která umožní plas- tu zalít drát který je po navinutí vidět v rohu kontaktu, -zda je drát defor- mován je odhaleno výstupní kontrolou na mikroskopu,	6	192	-změna sklado- vání kostek, -automatické vkládání kostky do kontaktů,			8	2	6	96			
	-vyčnívající drát zezadu kontaktu,	-vyčnívající drát je neak- ceptovatelnou vadou, takové kusy musí být vyřazeny,	8	-kontakty byly příprav- kem příliš ohnuty, -kontakty byly do špul- ky málo na- raženy,	8	-úhel ohybu kon- taktů byl prověřen výrobním proce- sem, -po naražení je prováděna vizuální kontrola kontaktů,	6	384	-po zavedení nové technolo- gie svařování, provádět ohý- bání kontaktů před samotným svařováním, -změna vtokové soustavy,			8	2	6	96			
	-vyčnívající drát v kon- taktu,	-vyčnívající drát je neak- ceptovatelnou vadou, takové kusy musí být vyřazeny,	8	-kontakty byly příprav- kem málo ohnuty, -nedolití pouzdra,	8	-vada je odhalena vizuálně ihned po vysunutí kostky z cívky,	6	384				8	2	6	96			

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)									FMECA číslo: Str.: 23 z 27				
Část procesu: zapouzdření cívky		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012			Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháč				
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit cívku s kostkou do formy ve stroji a spustit stroj v automatickém cyklu,	-pouzdro cívky není dolito,	-nedolitě pouzdro je neakceptovatelná vada a musí se vyřadit,	8	-malý tlak vstřikovacího zařízení, -nevhodně řešená vtoková soustava, -malá teplota vstřikovaného plastu,	8	-případné nedolití pouzdra je odhaleno vizuální kontrolou po zapouzdření,	6	384	-simulace plnění formy, -změna vtokové soustavy,			8	2	6	96
-zapouzdřené cívky vyjmout z formy a pomocí přípravky vyjmout kostku z kontaktů,	-při vyjímání kostky byla část kostky ulomena a zůstala v kontaktu,	-v kontaktu je zatlačen úlopek kostky a cívku je nutno vyřadit,	8	-kostka byla častým používáním opotřebena a kousek kostky se ulomil,	2	-vada je odhalena vizuálně ihned po vysunutí kostky z kontaktů cívky,	6	96							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KŘÍČNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 24 z 27					
Část procesu: výstupní kontrola		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-zkontrolovat pracoviště po odchozím testování a připravit je na nové (vyměnit měřicí zařízení a spustit PC program),	-cívky nelze do měřicího zařízení vložit,	-nelze zkontrolovat elektrické vlastnosti cívek,	4	-pracovník opomenul přípravu pracoviště (výměnu přípravku),	1	-v prac. postupu jsou specifikovány úkony, které musí pracovník provést, -prac. postup dále uvádí jaký měřicí přípravek pro daný typ cívky použít, -nevhodný přípravek je odhalen vizuálně,	2	8							
	-všechny cívky jsou na elektrickém testu vyhodnoceny jako neshodné,	-měřicí program vyřadí dobré kusy do bedny pro neshody, -pracovník kontroly může nechat zastavit výrobu (časové ztráty),	6	-záměna beden nebo identifikační dokumentace bedny, -pracovník spustil program, který je určen pro měření cívek s jiným el. odporem,	1	-dokumenty potřebné k identifikaci výrobků v bedně se ukládají dovnitř bedny a bedna je uzavřena víkem,	4	24							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 25 z 27					
Část procesu: výstupní kontrola		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:						Zpracoval: Miroslav Macháček					
Rozhodné datum:				Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):					
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit cívkou z bedny do měřicího přípravku, následuje automatické změření elektrického odporu cívky a automatický potisk cívky,	-dobrá cívka neprošla elektrickým testem a propadla do bedny pro neshody,	-vyřazení cívek, které mají správnou hodnotu elektrického odporu,	8	-v PC programu jsou nesprávně nastaveny hraniční hodnoty kontroly elektrického odporu,	1	-do PC programu může zasahovat pouze způsobilá osoba, -odhalení je provedeno porovnáním hodnot el. odporu v prac. postupu a hodnot zobrazených na obrazovce PC,	4	32							
	-elektrický odpor cívky není v toleranci (cívka je vyřazena automatickou kontrolou),	-elektrický odpor cívky není v požadovaném rozmezí (neshodný kus),	8	-automatická kontrola po svařování není dostatečně citlivá,	3	-kontrola el. odporu je prováděna po svaření a po zapouzštění,	2	48							
	-cívka byla vyřazena, protože její elektrický odpor kolísá	-kolísající el. odpor je nepřijatelná vada (neshodný kus),	8	-v průběhu výrobního procesu došlo k porušení izolace drátu,	2	-kolísající el. odpor cívky lze odhalit pouze výstupní kontrolou,	2	32							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICHNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 26 z 27					
Část procesu: výstupní kontrola		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-vložit cívkou z bedny do měřicího přípravku, následuje automatické změření elektrického odporu cívky a automatický potisk cívky,	-údaje vytištěné na cívce nejsou čitelné,	-ztráta možnosti identifikace cívky,	8	-porucha tiskárny, -nevhodná technologie popisu,	2	-100% vizuální kontrola čitelnosti údajů na cívce	4	64							
	-tiskárna netiskne,	-zastavení kontrolní linky,	8	-porucha tiskárny,	4	-odhalení je provedeno vizuálně,	4	96							
	-tisková hlava špiní kontrolní přípravek a cívkou,	-prostojí způsobené čištěním měřicího přípravku,	8	-porucha tiskové hlavy, -nevhodná technologie popisu,	5	-odhalení je provedeno vizuálně,	4	160	-použití technologie laserového popisu,			8	1	4	32
-kontrolovat rozměr kontaktu pomocí kalibru,	-kalibr jde do kontaktů vložit,	-pokud se neodhalí nesprávný rozměr kontaktu, vada se může dostat k zákazníkovi	8	-kalibr je opotřeben, -kontakt byl deformován kostkou, -nepřesně vyrobený kontakt,	2	-identifikační číslo kalibru je specifikováno v prac. postupu, -pravidelná kalibrace měřidla,	4	64							

Proces: výroba cívek		ANALÝZA DRUHŮ, DŮSLEDKŮ A KRITICNOSTI PORUCHOVÝCH STAVŮ (FMECA)								FMECA číslo: Str.: 27 z 27					
Část procesu: výstupní kontrola		Model: typ 1 a typ 2 Rok: 2012		Odpovědnost za proces:					Zpracoval: Miroslav Macháč						
Rozhodné datum:			Datum zpracování (orig.):						Datum zpracování (rev.):						
Řešitelský tým:															
Funkce procesu	Projev možné vady	Možný důsledek vady	závažnost	Možná příčina vady	výskyt	Stávající opatření - prevence - odhalení	odhalitelnost	RPN	Doporučená opatření	Odpovědnost a termín splnění	Výsledky opatření				
											Opatření splněno	závažnost	výskyt	odhalitelnost	RPN
-kontrolovat vizuálně povrch pouzdra (pod lupou),	-povrchová vada (viditelné vinutí, nedolítí pouzdra) není odhalena,	-pokud není vada odhalena při montáži, může se dostat k zákazníkovi,	8	-pracovník kontroly přehlédl povrchovou vadu,	1	-neakceptovatelné vady jsou zobrazeny na vývěsce na pracovišti, -k lepšímu odhalení pomáhá lupa,	4	32							
-cívky, které byly vyřazeny po elektrickém testu vhodit do příslušné odmítací tuby,	-cívka, která neprošla vizuální kontrolou, byla vhozena do nesprávné odmítací tuby,	-dojde ke zkreslení počtu vad, které vznikly v různých částech výrobního procesu,	3	-pracovník vhodil neshodný kus omylem do špatné odmítací tuby,	2	-odmítací tuby jsou popsány čitelnými tiskacími písmeny,	6	36							